



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 101 02 176 A 1

⑤1 Int. Cl. 7:  
H 01 S 3/23  
H 01 S 3/067  
H 01 S 3/17  
H 04 B 10/17

②1 Aktenzeichen: 101 02 176.3  
②2 Anmeldetag: 18. 1. 2001  
④3 Offenlegungstag: 16. 8. 2001

DE 101 02 176 A 1

③0 Unionspriorität:  
2000-013997 19. 01. 2000 JP  
2000-115821 11. 04. 2000 JP  
  
⑦1 Anmelder:  
Advantest Corp., Tokio/Tokyo, JP  
  
⑦4 Vertreter:  
RA u. PA Volkmar Tetzner; PA Michael Tetzner; RA  
Thomas Tetzner, 81479 München

⑦2 Erfinder:  
Shiota, Kazunori, Sendai, Miyagi, JP; Kanoh, Eiji,  
Sendai, Miyagi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤4 Optischer Breitbandverstärker und optische Breitbandsignalquelle mit variabler Wellenlänge
- ⑤1 Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Breitbandverstärker, der zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen dient, eine ausgesprochen kleine Anzahl von optischen Bauteilen umfaßt und entsprechend kostengünstig ist. Der optische Breitbandverstärker enthält: eine erste Bauteilgruppe, die aus einem ersten optischen Koppler, einer ersten Pumplichtquelle und einer ersten mit Erbium dotierten optischen Faser (EDF) besteht und ein Pumpen bei der ersten EDF ermöglicht; einen optischen Umschalter zum Umschalten für ein Ausgangssignal der ersten Bauteilgruppe und eine zweite Bauteilgruppe, die aus einem zweiten optischen Koppler, einer zweiten Pumplichtquelle und einer zweiten mit EDF zum Pumpen bei der zweiten EDF. Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge vorgesehen, bei der der beschriebene Breitbandverstärker zum Einsatz kommt.

DE 101 02 176 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Breitbandverstärker und eine optische Breitbandsignalquelle mit variabler Wellenlänge und bezieht sich dabei insbesondere auf einen optischen Breitbandverstärker, der optische Signale mit Wellenlängen vom 1,55- $\mu$ m-Bereich (C-Band: 1,53 bis 1,565  $\mu$ m) bis zum 1,58- $\mu$ m-Bereich (L-Band: 1,565 bis 1,60  $\mu$ m) verstärken kann, sowie auf eine optische Breitbandsignalquelle mit variabler Wellenlänge, bei der ein derartiger optischer Verstärker zum Einsatz kommt.

Optische Breitbandverstärker und optische Signalquellen werden bei optischen Datenübertragungssystemen und -bauteilen benötigt, bei denen optische Faserkabel zum Einsatz kommen. Fig. 1 zeigt ein Beispiel für einen entsprechenden optischen Breitbandverstärker gemäß dem Stand der Technik. Das dargestellte Beispiel bezieht sich auf einen optischen Breitbandverstärker zur Verstärkung optischer Signale in einem sich vom C-Band bis zum L-Band erstreckenden Bereich. Eine detailliertere Beschreibung hierzu läßt sich der japanischen Patentveröffentlichung Nr. Hei 10-229 238 sowie dem "Electron Letter, 33, S. 710 ff., 1997, M. Yamada et al." entnehmen. Dieses herkömmliche Beispiel wird im folgenden unter Bezugnahme auf Fig. 1 kurz erläutert.

Wie sich dem Blockschaltbild gemäß Fig. 1 entnehmen läßt, besteht der optische Breitbandverstärker hauptsächlich aus einem optischen C-Band-Verstärker 100, einem optischen L-Band-Verstärker 200, einem optischen Demultiplexer und einem optischen Multiplexer. Der optische Breitbandverstärker empfängt ein optisches Eingangssignal 10s und erzeugt ein optisches Ausgangssignal 62s, indem er das optische Eingangssignal 10s verstärkt.

Der optische C-Band-Verstärker 100 umfaßt einen ersten optischen Isolator 11, eine erste mit Erbium dotierte optische Faser (EDF) 21, eine erste Pumplichtquelle 31, einen WDM-Koppler (Wellenlängenteil-Multiplexkoppler) 31c und einen zweiten optischen Isolator 12. Der L-Band-Verstärker 200 umfaßt einen dritten optischen Isolator 13, eine zweite Pumplichtquelle 32, einen WDM-Koppler 32c, eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser (EDF) 22, ein drittes Pumplicht 33, einen WDM-Koppler 33c und einen vierten optischen Isolator 14. Bei diesem Beispiel werden der optische Demultiplexer und der optische Multiplexer durch einen WDM-Koppler 61 bzw. einen WDM-Koppler 62 gebildet.

Das dem (den Demultiplexer bildenden) WDM-Koppler 61 zugeführte optische Eingangssignal 10s wird in optische Signale 10s<sub>1</sub> und 10s<sub>2</sub> aufgeteilt. Das optische Signal 10s<sub>1</sub> wird dem ersten optischen Isolator 11 im optischen C-Band-Verstärker 100 zugeführt, während das optische Signal 10s<sub>2</sub> zum dritten optischen Isolator 13 im optischen L-Band-Verstärker gelangt. Anstelle des WDM-Kopplers 61 lassen sich auch andere Arten optischer Demultiplexer oder ein optischer Umschalter verwenden.

Im optischen C-Band-Verstärker blockiert der erste optische Isolator 11 Licht, das sich in die entgegengesetzte Richtung bewegt, d. h. rückgestreutes Licht, und führt das optische Eingangssignal 11s der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 zu. Somit wird durch den ersten optischen Isolator 11 unerwünschtes Licht, wie etwa rückwärtsgerichtetes Pumplicht, daran gehindert, sich zur Eingangsseite hin zu bewegen.

Die erste mit Erbium dotierte optische Faser 21 dient als Verstärkungsmedium und weist eine für die Verstärkung von Signalen im C-Band optimale Faserlänge auf. So besitzt die erste mit Erbium dotierte optische Faser 21 beispielsweise eine Faserlänge von 20 m (Metern). Die erste mit Erbium

dotierte optische Faser 21 empfängt über den WDM-Koppler 31c ein Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle 31. Auf der Grundlage einer Laserooperation in der mit einem seltenen Erdmetallelement (Erbium) dotierten Faser, verstärkt die erste mit Erbium dotierte optische Faser 21 das Eingangssignal 11s um einige 10 dB, d. h. beispielsweise um 20 dB oder mehr, und erzeugt so ein verstärktes optisches Signal 21s. Der zweite optische Isolator 12 empfängt das verstärkte optische Signal und erzeugt an seinem Ausgang ein optisches Signal 12s. Der zweite optische Isolator 12 blockiert dabei Licht, das sich in Rückwärtsrichtung ausbreitet.

Wie bereits erwähnt, liefern die erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c das Pumplicht zur Anregung der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21. Bei diesem Beispiel ist die Pumplichtquelle 31 hinter der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet, so daß das Pumplicht sich in Rückwärtsrichtung bewegt (Rückwärts-pumpen).

Im optischen L-Band-Verstärker 200 blockiert der dritte optische Isolator 13 das sich in die entgegengesetzte Richtung bewegende, d. h. rückwärtsgestreute, Licht und führt das optische Eingangssignal 14s über den WDM-Koppler 32c der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 zu. Durch den dritten optischen Isolator 13 wird unerwünschtes Licht, wie etwa rückwärtsgerichtetes Pumplicht, daran gehindert, sich zur Eingangsseite hin zu bewegen.

Der optische L-Band-Verstärker 200 arbeitet in gleicher Weise wie der optische C-Band-Verstärker 100. Die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22 weist eine Faserlänge auf, die zur Verstärkung optischer Signale im L-Band am besten geeignet ist. So beträgt die Faserlänge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 beispielsweise 120 m (Meter). Wie bereits erwähnt, ist die zweite Pumplichtquelle 32 zwischen dem dritten optischen Isolator 13 und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet. Außerdem ist die dritte Pumplichtquelle 33 zwischen dem vierten optischen Isolator 14 und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vorgesehen. Bei dieser Anordnung läßt sich ein L-Band-Signal um mehrere 10 dB, beispielsweise um 20 dB oder mehr, verstärken.

Wie bereits erwähnt, muß zur Verstärkung des L-Band-Lichtsignals durch die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22 die Länge der mit Erbium dotierten optischen Faser relativ groß sein, d. h. beispielsweise 120 m betragen. Aufgrund der großen Länge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 ist zu ihrer Anregung ein zweiseitig gerichtetes Pumpen bzw. die Bereitstellung von hochenergetischem Pumplicht nötig. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel sind die Pumplichtquellen 32 und 33 (für ein zweiseitig gerichtetes Pumpen) sowohl vor als auch hinter der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet.

Der (als optischer Multiplexer dienende) WDM-Koppler 62 dient zur Kombination zweier vom optischen C-Band-Verstärker bzw. vom optischen L-Band-Verstärker kommenden Eingangslichtsignale und liefert an seinem Ausgang ein kombiniertes optisches Signal. Dabei empfängt der WDM-Koppler 62 im einzelnen das optische C-Band-Signal 12s vom optischen C-Band-Verstärker 100 und das optische L-Band-Signal 13s vom optischen L-Band-Verstärker 200 und gibt ein kombiniertes optisches Signal 62s aus. Anstelle des erwähnten WDM-Kopplers 62 lassen sich auch andere Arten optischer Multiplexer bzw. ein optischer Umschalter verwenden.

Wie sich der obigen Beschreibung unter Bezugnahme auf Fig. 1 entnehmen läßt, werden im optischen Breitbandverstärker, der für einen Bereich vom C-Band bis zum L-Band ausgelegt ist, die optischen Signale, welche die die Signal-



richtung festlegenden optischen Isolatoren 11 und 13 passieren, durch die mit Erbium dotierten optischen Fasern 21 und 22 verstärkt, die wiederum durch entsprechendes Pumplicht von den Pumplichtquellen 31, 32 und 33 angeregt werden. Die verstärkten optischen Signale werden durch die zugehörigen optischen Isolatoren 12 bzw. 14 ausgegeben. Bei dieser Anordnung läßt sich die Bandbreite bzw. der Wellenlängenbereich des optischen Verstärkers in bekannter Weise durch Veränderung der Faserlänge der mit Erbium dotierten optischen Fasern 21 und 22 und der Intensität des jeweiligen Pumplichts steuern. Wenn man beispielsweise die Faserlänge der mit Erbium dotierten optischen Fasern erhöht, so erhöht sich auch die Wellenlänge der zu verstärkenden Signale.

Wie sich der obigen Beschreibung entnehmen läßt, werden zur Verstärkung optischer Signale in einem sich vom C-Band bis zum L-Band erstreckenden Bereich bei dem in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen optischen Breitbandverstärker mehrere Pumplichtsignale benötigt. Zudem müssen sowohl an der Eingangs- als auch an der Ausgangsseite sowohl des C-Band- als auch des L-Band-Verstärkers optische Isolatoren vorgesehen werden. Darüber hinaus werden auch optische Demultiplexer und Multiplexer benötigt, um die Lichtsignale aufzuteilen bzw. miteinander zu kombinieren. Da ein herkömmlicher optischer Verstärker somit notwendigerweise viele optische Bauteile umfaßt, kommt es hier zu einem relativ hohen Einfügungsverlust und hohen Kosten. Zudem muß der optische Verstärker mit ausgesprochen langen mit Erbium dotierten optischen Fasern ausgestattet sein, wobei der optische Verstärker, wie erwähnt, beispielsweise sowohl eine erste mit Erbium dotierte optische Faser von 20 m Länge für den C-Band-Verstärker, als auch eine zweite, 120 m lange mit Erbium dotierte optische Faser für den L-Band-Verstärker umfaßt.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen optischen Breitbandverstärker zu beschreiben, der zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen dient und eine ausgesprochen geringe Anzahl optischer Bestandteile umfaßt.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen optischen Breitbandverstärker zu beschreiben, der zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen dient, einen einfachen Aufbau aufweist und kostengünstig ist.

Zudem ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen optischen Breitbandverstärker zu beschreiben, der zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen dient, dabei ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis bietet und sowohl vergleichsweise geringe Kosten verursacht als auch eine vergleichsweise kleine Anzahl von Bestandteilen umfaßt.

Schließlich liegt dieser Erfindung auch die Aufgabe zugrunde, eine optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge zu beschreiben, die zur Erzeugung eines optischen Signals dient und dabei wenigstens zwei Wellenlängenbereiche abdeckt, einen einfachen Aufbau besitzt und kostengünstig ist.

Zur Lösung der genannten Aufgaben umfaßt ein optischer Breitbandverstärker gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung eine erste Bauteilgruppe, die aus einem ersten optischen Koppler, einer ersten Pumplichtquelle und einer ersten mit Erbium dotierten optischen Faser besteht, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser durch ein erstes Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird; einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signal-



wegen für ein Ausgangssignal der ersten Bauteilgruppe; und eine zweite Bauteilgruppe, die aus einem zweiten optischen Koppler, einer zweiten Pumplichtquelle und einer zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser besteht, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird.

Die erste Bauteilgruppe bildet dabei einen ersten optischen Verstärker für einen ersten Verstärkungsbereich, während ein zweiter optischer Verstärker für einen zweiten Verstärkungsbereich durch eine Kombination der ersten Bauteilgruppe mit der zweiten Bauteilgruppe gebildet wird. Die Länge und/oder die Dichte der Erbiumdotierung der ersten und zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser wird bzw. werden entsprechend dem ersten und zweiten Verstärkungsbereich gewählt.

Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge vorgesehen, bei der der genannte optische Breitbandverstärker zum Einsatz kommt und die zur Erzeugung eines optischen Signals in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen dient. Die optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge enthält einen ersten optischen Verstärker, der einen ersten optischen Koppler, eine erste Pumplichtquelle und eine erste mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser durch ein erstes Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird; einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signalwegen für ein Ausgangssignal des ersten optischen Verstärkers; einen Verstärkerblock, der einen zweiten optischen Koppler, eine zweite Pumplichtquelle und eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird; einen zweiten optischen Verstärker, der gebildet wird, indem man den ersten optischen Verstärker über den optischen Umschalter mit dem Verstärkerblock in Serie schaltet; ein optisches Filter mit variabler Wellenlänge zur Auswahl der Wellenlänge des durch die optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge zu erzeugenden optischen Signals; und einen optischen Demultiplexer zur Bildung einer Rückkopplungsschleife durch Rückführung des optischen Signals vom optischen Filter mit variabler Wellenlänge zu einem Eingang des ersten optischen Verstärkers und Erzeugung des optischen Signals in Form eines Ausgangssignals.

Die Länge und/oder die Dichte der Erbiumdotierung der ersten und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser werden entsprechend dem ersten und zweiten Verstärkungsbereich gewählt. Stattdessen kann auch die Länge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem ersten Bereich gewählt werden, während die Summe der Länge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem zweiten Bereich gewählt wird.

Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein optischer Breitbandverstärker mit wenigstens zwei Wellenlängenbereichen zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge vorgesehen, der ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) bietet. Dieser optische Breitbandverstärker enthält einen ersten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem ersten Bereich dient und einen ersten optischen Koppler, eine erste Pumplichtquelle und eine erste mit Erbium dotierte optische Faser enthält, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser mit Hilfe eines von der ersten Pumplichtquelle kommenden Pumplichts angeregt wird; einen optischen Umschalter zum Wechsel der Signalwege für ein Ausgangssignal des ersten optischen Verstär-

kers; und einen zweiten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem zweiten Bereich dient, der größere Wellenlängen umfaßt als der erste Bereich, wobei der zweite optische Verstärker durch den ersten optischen Verstärker und einen zweiten Verstärkerblock gebildet wird, welcher einen zweiten optischen Koppler, eine zweite Pumplichtquelle und eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein von der zweiten Pumplichtquelle kommendes Pumplicht angeregt wird und wobei der zweite optische Verstärker Mittel zur Entfernung verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser umfaßt.

Die Mittel zur Entfernung des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich werden dabei durch einen optischen Wellenlängenwahl-Koppler gebildet, welcher die zweite Pumplichtquelle an die zweite mit Erbium dotierte optische Faser koppelt und ein Passieren des ASE-Lichts im ersten Bereich verhindert. Alternativ hierzu können die Mittel zur Entfernung des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich durch ein optisches Filter gebildet werden, das kein ASE-Licht im ersten Bereich passieren läßt.

Bei dem erfindungsgemäßen optische Breitbandverstärker kann auf teure optische Bauteile verzichtet werden, indem man den ersten und den zweiten optischen Verstärker miteinander in Serie schaltet, wodurch sich sowohl eine erhebliche Kostenersparnis als auch eine beträchtliche Größenreduzierung erzielen lassen. Zudem verringert sich die Faserlänge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser, wobei sich auch das Energieniveau des zur zweiten mit Erbium dotierten Faser gepumpten Pumplichts entsprechend verringern läßt, was zu einer weiteren Größenreduzierung und Kostenersparnis führt. Die optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge, bei der die optische Breitbandverstärkung in der genannten Weise erfolgt, bietet dieselben Vorteile. Zudem läßt sich beim optischen Breitbandverstärker das Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) bei der L-Band-Verstärkung verbessern, indem man eine Filterfunktion vorsieht, die die verstärkte Spontanemission (ASE) im C-Band-Wellenlängenbereich blockiert.

Im folgenden wird die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines Beispiels für den Aufbau des optischen Breitbandverstärkers gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild eines Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild eines Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 5 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 6 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 8 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers;

Fig. 9 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 10 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 11 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 12 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 13 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge;

Fig. 14 ein Diagramm zur Darstellung einer Kennlinie des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers zur Verstärkung optischer Signale des C- und L-Bands durch Wechsel des Bereichs mit Hilfe eines optischen Umschalters;

Fig. 15 ein schematisches Blockschaltbild eines Beispiels für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers, der ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) bei der Verstärkung optischer Signale im L-Band bietet;

Fig. 16 ein Diagramm zur Darstellung eines optischen Spektrums von ASE-Licht (verstärktem Spontanemissionslicht) von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser im erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker, wobei nicht festgelegt ist, welche Wellenlängen den WDM-Koppler passieren dürfen bzw. von ihm reflektiert werden;

Fig. 17 ein Diagramm zur Darstellung eines optischen Spektrums von ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisendem ASE-Licht (verstärktem Spontanemissionslicht) von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser im erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker, wobei im WDM-Koppler die Wellenlängen so festgelegt sind, daß eine Trennung der C-Band-Wellenlängen von den L-Band-Wellenlängen erfolgt; und

Fig. 18 ein schematisches Blockschaltbild eines weiteren Beispiels für den Aufbau des L-Band-Verstärkers im erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker.

Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Die Fig. 2 bis 14 zeigen die bevorzugten Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers bzw. der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge. In den Fig. 2 bis 14 sind Bestandteile, die denjenigen des in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen Beispiels entsprechen, mit denselben Bezugsziffern gekennzeichnet. Bei der vorliegenden Erfindung wird davon ausgegangen, daß bei einem tatsächlichen Einsatz der optischen Verstärker die Wellenlänge des optischen Eingangssignals vorab festgelegt und einem Benutzer bekannt ist.

Der optische Breitbandverstärker gemäß Fig. 2 besteht im wesentlichen aus einem optischen C-Band-Verstärker 120, einem optischen L-Band-Verstärker 320 mit einem L-Band-Block (Verstärkerblock) 220 und einem optischen Umschalter 50. Der L-Band-Verstärker 320 wird durch die Kombination des C-Band-Verstärkers 120 mit dem L-Band-Block 220 gebildet. Bei der in Fig. 2 gezeigten Anordnung wird auf den in Fig. 1 verwendeten (als optischer Demultiplexer dienenden) WDM-Koppler 61 zur Teilung eines Lichtsignals und den (als optischer Multiplexer dienenden) WDM-Koppler 62 zur Kombination von Lichtsignalen verzichtet. Zudem wurde, wie sich Fig. 2 entnehmen läßt, erfindungsgemäß die Anzahl der optischen Isolatoren, der Pumplichter

und der WDM-Koppler gegenüber dem in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen Ausführungsbeispiel reduziert, während der optische Umschalter 50 zusätzlich vorgesehen wurde.

Bei dem in Fig. 2 gezeigten optischen Breitbandverstärker handelt es sich um einen Verstärker, der in der Lage ist, ein optisches Signal in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen (C-Band und L-Band) zu verstärken, und es wird davon ausgegangen, daß das optische Eingangssignal eine vorab bekannte, gleichmäßige Wellenlänge aufweist. Wenn nun das optische Eingangssignal 11s eine Wellenlänge im C-Band aufweist, so verstärkt der optische C-Band-Verstärker 120 das optische Eingangssignal und gibt das verstärkte Signal 51s durch den optischen Umschalter 50, d. h. durch die Anschlüsse 1-2 (Pfeil A) im optischen Umschalter 50, direkt aus. Liegt die Wellenlänge des optischen Eingangssignals 11s hingegen im L-Band, so verstärkt der durch eine Kombination des optischen C-Band-Verstärkers 120 mit dem L-Band-Block 220 gebildete L-Band-Verstärker 320 das Eingangssignal und gibt das verstärkte Signal 51s durch den optischen Umschalter 50 aus. Somit passiert das Eingangssignal bei der L-Band-Verstärkung den optischen C-Band-Verstärker 120, den optischen Umschalter 50 (vom Anschluß 1 zum Anschluß 4 gemäß Pfeil B), den L-Band-Block 220 und erneut den optischen Umschalter 50 (vom Anschluß 3 zum Anschluß 2).

Der optische C-Band-Verstärker 120 umfaßt einen ersten optischen Isolator 11, eine erste mit Erbium dotierte optische Faser (EDF) 21, ein erstes Pumplicht 31, einen WDM-Koppler (Wellenlängenteil-Multiplex-Koppler) 31c und einen zweiten optischen Isolator 12, während der L-Band-Block 220 ein zweites Pumplicht 32, einen zweiten WDM-Koppler 32c, eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser (EDF) 22 und einen dritten optischen Isolator 13 enthält.

Bei dem optischen Umschalter 50 handelt es sich um einen Schalter, der in der oben erwähnten Weise einen Wechsel zwischen zweierlei optischen Signalweg-Modi ermöglicht. Im ersten Modus (Pfeil A), d. h. beim C-Band-Verstärker, liefert der optische Umschalter 50 am Ausgangsanschluß 2 ein optisches C-Bandsignal vom optischen C-Band-Verstärker 120, während er im zweiten Modus, d. h. beim L-Band-Verstärker, einen Signalweg zwischen den Anschlüssen 1 und 4 (Pfeil B) sowie einen Signalweg zwischen den Anschlüssen 3 und 2 herstellt und so durch den optischen C-Band-Verstärker und den L-Band-Block 220 ein optisches L-Band-Signal liefert. Die Arbeit des optischen Umschalters 50 wird durch ein Schaltsignal von einem (nicht dargestellten) externen Steuerelement gesteuert.

Im ersten Modus (d. h. beim C-Band-Verstärker) erzeugt der optische C-Band-Verstärker 120 bei Empfang des im C-Band angesiedelten optischen Eingangssignals 10s am Ausgang des zweiten optischen Isolators 12 ein optisches Signal 12s. Das optische Signal 12s weist eine beispielsweise um mehr als 20 dB erhöhte (verstärkte) Energie auf und passiert als optisches Ausgangssignal 51s den optischen Umschalter 50. Die Faserlänge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 entspricht dabei derjenigen bei dem in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen Beispiel und beträgt also beispielsweise 20 m (Meter).

Im zweiten Modus (d. h. beim L-Band-Verstärker) erzeugt der optische C-Band-Verstärker 120 bei Empfang des im L-Band angesiedelten optischen Eingangssignals 10s ein Mischsignal aus dem optischen L-Band-Signal 10s und einem verstärkten Spontanemissionslicht (ASE-Licht) im C-Band, welches durch die erste mit Erbium dotierte optische Faser 21 induziert wird. Das Mischsignal passiert den optischen Umschalter 50 (entsprechend Pfeil B vom Anschluß 1 zum Anschluß 4) und wird dem L-Band-Block 220 des optischen L-Band-Verstärkers 320 zugeführt.

Die Faserlänge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 im L-Band-Block 220 des optischen L-Band-Verstärkers 320 beträgt 100 m (Meter) und unterscheidet sich somit von derjenigen bei dem in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen Beispiel um  $120\text{ m} - 100\text{ m} = 20\text{ m}$ . Bei Empfang des durch eine Kombination des ASE-Lichts mit dem optischen Signal 10s gebildeten optischen Signals 52s und bei Anregung der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 durch das ASE-Licht und das zweite Pumplicht 32 wird das optische Signal im L-Band um beispielsweise 20 dB oder mehr verstärkt. Über den dritten optischen Isolator 13 und den optischen Umschalter 50 wird das verstärkte Signal 13s schließlich als ein optisches Signal 51s ausgegeben.

Bei dem erfindungsgemäßen optischen Verstärker entspricht bei einer Faserlänge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 gleich X und einer Faserlänge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 gleich Y die gesamte zur Verstärkung des L-Band-Signals benötigte Faserlänge der Summe der Länge der mit Erbium dotierten Fasern 21 und 22, d. h. sie beträgt  $X + Y$ , also in diesem Fall 120 m (Meter). Da die erste mit Erbium dotierte optische Faser 21 eine Länge von 20 m aufweist, muß die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22 zur Erzielung einer Gesamtlänge von 120 m eine Länge von 100 m aufweisen. Somit ist die zweite mit Erbium dotierte Faser 22 bei der vorliegenden Erfindung um 20 m kürzer als bei dem in Fig. 1 gezeigten herkömmlichen Ausführungsbeispiel, was zu einer Kostenersparnis führt. Wie aus dem Stand der Technik bereits bekannt ist, gehören zu den weiteren Faktoren, die eine Einstellung der Wellenlängenbereiche der Verstärkung ermöglichen, auch die Dichte der Erbiumdotierung der ersten und zweiten optischen Faser 21 bzw. 22 und die Energie-Intensität des den optischen Fasern 21 und 22 zugeführten Pumplichts.

Bei der vorliegenden Erfindung wird die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22 im übrigen nicht nur durch das Pumplicht von der Pumplichtquelle 32, sondern zusätzlich durch das ASE-Licht vom optischen C-Band-Verstärker 120 angeregt, so daß hier ein einziges Pumplicht zur Erzielung eines Anstiegs um 20 dB oder mehr ausreicht, der dem Anstieg bei dem herkömmlichen, mit zwei Pumplichtern arbeitenden Beispiel gemäß Fig. 1 entspricht. Alternativ hierzu läßt sich bei Verwendung derselben Anzahl von Pumplichtquellen wie beim herkömmlichen Beispiel zur Erzielung desselben Ergebnisses das Energieniveau der Pumplichter bei der vorliegenden Erfindung verringern.

Bei dem in Fig. 2 gezeigten erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker wird der optische L-Band-Verstärker 320 gebildet, indem man den optischen C-Band-Verstärker 120 mit dem L-Band-Block 220 in Serie schaltet. Das optische C-Bandsignal wird durch den C-Band-Verstärker verstärkt, während das optische L-Band-Signal durch den L-Band-Block 220 verstärkt wird, wenn es den C-Band-Verstärker und den L-Band-Block 220 passiert. Auf den (als optischer Demultiplexer dienenden) WDM-Koppler 61 und den (als optischer Multiplexer dienenden) WDM-Koppler 62 wird hier verzichtet und auch die Gesamtzahl der Pumplichter wurde verringert. Dementsprechend kommt es zu einer erheblichen Kostenersparnis, wobei der erfindungsgemäße optische Breitbandverstärker jedoch dennoch im wesentlichen dieselben Fähigkeiten besitzt wie das Beispiel gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 3 zeigt einen Aufbau einer erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge. Bei diesem Beispiel wird in der optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge der in Fig. 2 gezeigte optische Breitbandverstärker verwendet. Die optische Signal-

quelle gemäß Fig. 3 umfaßt den optischen C-Bandverstärker 120, den optischen Umschalter 50, den optischen L-Band-Verstärker 320, der eine Kombination des optischen C-Band-Verstärkers 120 und des L-Band-Blocks 220 darstellt, wobei C-Band-Verstärker und L-Band-Block miteinander in Serie geschaltet sind, ein optisches Filter 70 mit variabler Wellenlänge und einen optischen Demultiplexer 85.

Der Ausgangsanschluß des optischen Filters 70 mit variabler Wellenlänge verbunden, wobei der Ausgangsanschluß des optischen Filters 70 mit variabler Wellenlänge seinerseits wiederum durch den optischen Demultiplexer 85 mit dem Eingangsanschluß des ersten optischen Isolators 11 verbunden ist. Ein vom optischen Demultiplexer 85 geliefertes optisches Signal 85s stellt ein Ausgangssignal der optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge dar.

Da bei der Anordnung gemäß Fig. 3 eine Rückkopplungsschleife, d. h. ein (als Resonator wirkender) Faser-Ring vorhanden ist, kommt es hier zu einer Laser-Oszillation. Die Oszillationswellenlänge (Frequenz) wird durch die Operation des optischen Umschalters 50, der einen Wechsel des C- bzw. L-Bands bewirkt, und Einstellung des optischen Filters 70 mit variabler Wellenlänge reguliert, das eine Wellenlänge festgelegt, für die die Schleifenverstärkung der Rückkopplungsschleife (d. h. des Faser-Rings) größer als der Faktor eins ist, um so die Oszillation zu starten.

Zur Erzeugung eines C-Band-Lichts stellt der optische Umschalter 50 einen Signalweg her, bei dem das Ausgangssignal 12s des optischen C-Band-Verstärkers 120 über die Anschlüsse 1 und 2 (Pfeil A) des optischen Umschalters 50 dem optischen Filter 70 mit variabler Wellenlänge zugeführt wird. Das Ausgangssignal des optischen Filters 70 mit variabler Wellenlänge wird wieder dem Eingang des optischen C-Band-Verstärkers zugeführt. Zur Erzeugung eines L-Band-Lichts legt der optische Umschalter 50 hingegen einen Signalweg fest, bei dem das Signal den optischen C-Band-Verstärker 120, den optischen Umschalter 50 (vom Anschluß 1 zum Anschluß 4 gemäß Pfeil B), den L-Band-Block 220, erneut den optischen Umschalter 50 (vom Anschluß 3 zum Anschluß 2) und das optische Filter 70 mit variabler Wellenlänge passiert und dann wiederum dem Eingang des optischen C-Band-Verstärkers zugeführt wird.

Bei dem optischen Filter 70 mit variabler Wellenlänge handelt es sich um ein optisches Filter, dessen durchgelassener Wellenlängenbereich sich mit Hilfe eines (nicht dargestellten) Steuersignals beliebig einstellen läßt, d. h. das optische Filter 70 mit variabler Wellenlänge ist ein Selektionsfilter. Bei Empfang des optischen Signals 51s vom Ausgangsanschluß des optischen Umschalters 50 ermöglicht das optische Filter 70 mit variabler Wellenlänge das Passieren derjenigen optischen Signale, welche die durch das Steuersignal vorgegebenen Wellenlängen aufweisen, wobei diese Wellenlängen zumindest entweder im C-Band oder im L-Band liegen. Zur Lichterzeugung mit hoher Qualität wird vorzugsweise ein Filter mit variabler Wellenlänge eingesetzt, das eine enge Bandbreite, d. h. eine hohe Selektivität, aufweist.

Der optische Demultiplexer 85 empfängt das optische Signal 70s vom optischen Filter 70 mit variabler Wellenlänge und gibt optische Signale 85s und 86s aus, indem er das optische Signal 70s aufteilt. Das eine optische Teil-Signal 86s wird zur Herstellung einer Rückkopplungsschleife dem ersten optischen Isolator 11 im optischen C-Band-Verstärker zugeführt, während das andere optische Teil-Signal 85s ein Ausgangssignal der erfindungsgemäßen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge bildet.

Wie sich Fig. 3 entnehmen läßt, erhält man gemäß der

vorliegenden Erfindung eine optische Signalquelle mit variabler Wellenlänge, die einen Bereich vom C-Band bis zum L-Band abdeckt und dabei einen relativ einfachen Aufbau besitzt.

Das Konzept der vorliegenden Erfindung ist im übrigen nicht auf den spezifischen Aufbau der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt; vielmehr kann die vorliegende Erfindung auch durch andere Anordnungen verwirklicht werden, die den jeweiligen Bedürfnissen angepaßt sind. Im folgenden sind Beispiele für derartige Modifikationen unter Bezugnahme auf die beigelegte Zeichnung näher erläutert.

Eine erste Modifikation des optischen Breitbandverstärkers läßt sich Fig. 4 entnehmen. Bei dem in Fig. 2 gezeigten optischen Breitbandverstärker ist die erste Pumplichtquelle 31 zum rückwärtsgerichteten Pumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 hinter dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet. Bei dem Beispiel gemäß Fig. 4 sind hingegen die erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c vor der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vorgesehen, um ein Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 zu erzielen.

Fig. 5 zeigt eine zweite Modifikation des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers. Bei dem in Fig. 2 gezeigten optischen Breitbandverstärker ist die zweite Pumplichtquelle 32 zum vorwärtsgerichteten Pumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet, während bei dem Beispiel gemäß Fig. 5 die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Rückwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 hinter dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 positioniert sind.

Fig. 6 läßt sich eine dritte Modifikationsmöglichkeit bei dem erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker entnehmen. Bei diesem Beispiel sind, wie auch bei Fig. 4, die erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c zum Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vor dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet. Zusätzlich sind hier allerdings noch, entsprechend dem Beispiel gemäß Fig. 5, auch die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Rückwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 hinter dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vorgesehen.

Eine vierte Möglichkeit zur Modifizierung des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers ist in Fig. 7 dargestellt. Während bei dem in Fig. 2 gezeigten optischen Breitbandverstärker die zweite Pumplichtquelle 32 zum Vorwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet ist, sind bei dem in Fig. 7 gezeigten Beispiel die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Vorwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vorgesehen und es sind zusätzlich hinter der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 zum Rückwärtspumpen bei dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 noch ein drittes Pumplicht 33 und ein WDM-Koppler 33c vorgesehen, so daß das zweite Pumplicht 32 und das dritte Pumplicht 33 eine Anregung der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 durch ein zweiseitig gerichtetes Pumpen bewirken.

Fig. 8 zeigt schließlich noch eine fünfte Modifikation des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers. Während bei dem in Fig. 7 gezeigten optischen Breitbandverstärker die erste Pumplichtquelle 31 zum Rückwärtspumpen bei



der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 hinter dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet ist, sind beim Beispiel gemäß Fig. 8 diese erste Pumplichtquelle 31 und es sind der WDM-Koppler 31c zum Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vor dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vorgesehen.

Die Fig. 9 bis 13 zeigen verschiedene Ausführungsmöglichkeiten der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge, wobei sich Fig. 9 eine erste Modifikation der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge entnehmen läßt. Bei dem in Fig. 3 dargestellten optischen Breitbandverstärker ist die erste Pumplichtquelle 31 zum rückwärtsgerichteten Pumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 hinter dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet. Bei dem Beispiel gemäß Fig. 9 sind hingegen die erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c vor der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vorgesehen, um ein Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 zu erzielen.

Fig. 10 zeigt eine zweite Modifikation der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge. Bei dem in Fig. 3 gezeigten optischen Breitbandverstärker ist die zweite Pumplichtquelle 32 zum vorwärtsgerichteten Pumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet, während bei dem Beispiel gemäß Fig. 10 die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Rückwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 hinter dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 positioniert sind.

Fig. 11 läßt sich eine dritte Modifikationsmöglichkeit der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge entnehmen. Bei diesem Beispiel sind, wie auch bei dem Beispiel gemäß Fig. 9, die erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c zum Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vor dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet. Zusätzlich sind hier jedoch, entsprechend dem Beispiel gemäß Fig. 10, auch noch die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Rückwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 hinter dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 positioniert.

Eine vierte Modifikation der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge ist in Fig. 12 dargestellt. Bei der in Fig. 3 gezeigten optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge ist die zweite Pumplichtquelle 32 zum Vorwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet. Bei dem in Fig. 12 gezeigten Beispiel sind hingegen die zweite Pumplichtquelle 32 und der WDM-Koppler 32c zum Vorwärtspumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 vor der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 angeordnet, wobei zusätzlich hinter der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 zum Rückwärtspumpen bei dieser zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 noch ein drittes Pumplicht 33 und ein WDM-Koppler 33c vorgesehen sind, so daß das zweite Pumplicht 32 und das dritte Pumplicht 33 eine Anregung der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 durch ein zweiseitig gerichtetes Pumpen bewirken.

Fig. 13 läßt sich schließlich noch eine fünfte Modifikation des erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge entnehmen. Während sich bei

dem in Fig. 12 gezeigten optischen Breitbandverstärker die erste Pumplichtquelle 31 zum Rückwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 hinter dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 befindet, sind nämlich beim Beispiel gemäß Fig. 13 diese erste Pumplichtquelle 31 und der WDM-Koppler 31c zum Vorwärtspumpen bei der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 vor dieser ersten mit Erbium dotierten optischen Faser 21 angeordnet.

Das Konzept der vorliegenden Erfindung beschränkt sich nicht auf die genannten Ausführungsbeispiele. So finden bei den genannten Ausführungsbeispielen zwei optische Verstärker, d. h. der optische C-Band-Verstärker 120 und der optische L-Band-Verstärker 320, Verwendung. Allerdings können auch drei oder mehr optische Verstärker für verschiedene Wellenlängenbereiche vorgesehen werden, die durch optische Umschalter miteinander in Serie geschaltet sind, um so optische Signale mit drei oder mehr unterschiedlichen Wellenlängen zu verstärken. Daneben kann hinter dem optischen Breitbandverstärker zusätzlich eine Entzerrschaltung vorgesehen werden, um die Frequenzkennlinien (Wellenlängen-Kennlinien) der Verstärkung abzuflachen.

Bei dem erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker und der erfindungsgemäßen optischen Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge läßt sich bei der L-Band-Verstärkung ein Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) erzielen, das unter dem der C-Band-Verstärkung liegt, was darauf zurückzuführen ist, daß das ASE-Licht (verstärktes Spontanemissionslicht) vom optischen C-Band-Verstärker zum Pumpen bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser im optischen L-Band-Verstärker eingesetzt wird. Die Fig. 14 bis 18 zeigen bei der vorliegenden Erfindung eingesetzte Mittel zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses des optischen Signals bei der L-Band-Verstärkung.

Fig. 15 zeigt ein Beispiel für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärkers, der ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) bei der L-Band-Verstärkung bietet. Fig. 16 läßt sich ein Beispiel für das optische Spektrum eines von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 ausgesandten ASE-Lichts entnehmen, bei dem keine Maßnahmen zur Reduzierung des ASE-Rauschens, etwa durch Verwendung eines WDM-Wellenlängenwahl-Kopplers getroffen wurden, während Fig. 17 ein Beispiel für das optische Spektrum von ASE-Licht wiedergibt, bei dem der WDM-Wellenlängenwahl-Koppler als Mittel zur Trennung des C-Bands vom L-Band eingesetzt wird.

Der optische Breitbandverstärker gemäß Fig. 15 weist neben den bereits in Fig. 5 gezeigten Bauteilen noch einen vierten optischen Isolator und einen WDM-Wellenlängenwahl-Koppler (d. h. einen Wellenlängenteil-Multiplexkoppler zur Wellenlängenwahl) 40 auf, die zum L-Band-Block 220 des optischen L-Band-Verstärkers 320 gehören. Dabei wird im einzelnen der zweite WDM-Koppler 32c in Fig. 5 durch den vierten optischen Isolator 42 und den WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 ersetzt.

Bei der L-Band-Verstärkung, bei der das Ausgangssignal des optischen C-Band-Verstärkers 120 durch den optischen Umschalter 50 dem Eingang des L-Band-Blockes 220 zugeführt wird, handelt es sich bei dem vom optischen C-Band-Verstärker 120 kommenden optischen Signal 52s um ein optisches Signal, das eine Mischung aus induzierter und spontaner Emission darstellt. Die induzierte Emission umfaßt dabei optische Komponenten, die durch eine auf dem optischen Eingangssignal 10s basierende Stimulation emittiert werden, während die spontane Emission optische Komponenten umfaßt, die durch verstärktes Spontanemissionslicht

(ASE-Licht) gebildet werden und nicht zu den induzierten Emissionen gehören.

Die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22 empfängt das optische Signal 52s und das von der zweiten Pumplichtquelle 32 kommende zweite Pumplicht 32s. In der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 erfolgen sowohl die induzierte als auch die spontane Emission, so daß das optische Signal 22s ein verstärktes optisches Signal und ASE-Licht enthält. Da die erste und zweite mit Erbium dotierte optische Faser zur Verstärkung von L-Band-Signalen ausgelegt sind, handelt es sich beim optischen Signal 22s dabei im einzelnen um eine Mischung aus der verstärkten Komponente, die durch das optische L-Band-Signal 10s induziert wurde, und der Komponente, die auf die verstärkte Spontanemission (ASE) zurückgeht. ASE-Licht ist im übrigen auch dann vorhanden, wenn das optische Eingangssignal 10s dem optischen Verstärker nicht zugeführt wird und erstreckt sich dabei in dem weiten Bereich vom C- bis zum L-Band.

Bei der Anordnung gemäß Fig. 15 führt der vierte optische Isolator 42 das Pumplicht 32s von der zweiten Pumplichtquelle 32 durch den WDM-Koppler 40 der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 zu, wobei der optische Isolator 42 ein Rückfließen des optischen Signals vom WDM-Koppler 40 blockiert, wodurch verhindert werden kann, daß der unerwünschte optische Bestandteil 22s<sub>2</sub> zur zweiten Pumplichtquelle 32 gelangt. Ist die zweite Pumplichtquelle 32 mit einem eigenen optischen Isolator ausgestattet, so kann auf den vierten optischen Isolator 42 verzichtet werden.

Das optische Spektrum des von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 gelieferten optischen Signals 22s läßt sich Fig. 16 entnehmen. Wird kein optisches Signal 10s an den Eingang des optischen C-Band-Verstärkers 120 geleitet, so besteht das optische Signal 22s nur aus dem verstärkten Spontanemissionslicht (ASE-Licht), das aufgrund des Pumplichts im Verstärker erzeugt wird. Die Kennlinie A in Fig. 16 zeigt daher ein ASE-Licht-Spektrum, das einen breiten Wellenlängenbereich abdeckt, welcher das C- und das L-Band umfaßt. Das Spektrum des auf der spontanen Emission basierenden ASE-Lichts stellt bei der optischen Verstärkung des optischen Eingangssignals 10s eine unerwünschte Störung dar, so daß das ASE-Licht den Grund für ein verschlechtertes Signal-Rausch-Verhältnis (S/R-Verhältnis) beim optischen Ausgangssignal 51s darstellt.

Bei dem in Fig. 15 gezeigten WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 handelt es sich um einen WDM-Koppler, der wie der in den Fig. 2 bis 13 gezeigte zweite WDM-Koppler 32c als optischer Multiplexer dient. Zudem besitzt der WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 eine Filterfunktion, die verhindert, daß er von C-Band-Signalen oder Signalen kürzerer Wellenlänge passiert wird. Im Betrieb arbeitet der WDM-Koppler 40 als optischer Multiplexer zur Kopplung des zweiten Pumplichts 32c von der zweiten Pumplichtquelle 32 an die zweite mit Erbium dotierte optische Faser 22. Außerdem dient der WDM-Koppler 40 als optischer Filter, wenn er das optische Signal 22s von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 empfängt, welches eine Mischung des verstärkten optischen Signals und des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) darstellt.

Da der WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 so gestaltet ist, daß er die C-Band-Komponenten blockiert, passiert nur das optische L-Band-Signal 22s<sub>1</sub> (das eine Mischung des verstärkten optischen Signals und des ASE-Lichts im L-Band darstellt) den WDM-Koppler 40 als optisches Signal 40s. Das C-Band-ASE-Licht 22s<sub>2</sub> wird hingegen zur zweiten Pumplichtquelle 32 abgeleitet.

Dies führt dazu, daß das C-Band-ASE-Licht blockiert

und nur das Spektrum im L-Band als optisches Signal 40s ausgegeben wird, wie sich dies der Kennlinie B in Fig. 17 entnehmen läßt. Das optische Signal 40s breitet sich durch den dritten optischen Isolator 13 als optisches Signal 51s aus.

Der WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 ist bereits aus dem Stand der Technik bekannt und wird beispielsweise durch einen WDM-Koppler gebildet, der mehrere Lagen dielektrischen Materials umfaßt. Bei diesem Beispiel überlappen sich dünne Schichten dielektrischen Materials mit unterschiedlichen Brechungskoeffizienten derart, daß diejenigen optischen Signale, die eine der Brechungsphase der mehrlagigen Schichten entsprechende Wellenlänge aufweisen, reflektiert werden, während die anderen Signale diese Schichten passieren können. Indem man nun Parameter, wie etwa die Dicke der dünnen dielektrischen Schichten, die Anzahl der dünnen Schichten und die Brechungskoeffizienten des dünnen Schichtmaterials entsprechend festlegt, erhält man einen WDM-Wellenlängenwahl-Koppler, der Wellenlängen im C-Band bzw. kürzere Wellenlängen blockiert.

Durch den Einsatz des WDM-Wellenlängenwahl-Kopplers 40 kann der erfindungsgemäße optische Breitbandverstärker das ASE-Licht im C-Band entfernen, das für die L-Band-Verstärkung nicht benötigt wird, wodurch sich das S/R-Verhältnis im optischen Signal 51s verbessert, so daß man einen optischen L-Band-Verstärker erhält, bei dem ein geringeres Rauschen auftritt.

Das Spektrum des ASE-Lichts vom WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 wird im folgenden unter Bezugnahme auf das Beispiel gemäß Fig. 17 noch näher erläutert. Die Kennlinie A in Fig. 17 zeigt das Spektrum des von der in Fig. 5 gezeigten zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser 22 kommenden ASE-Lichts, wobei kein optisches Eingangssignal zugeführt wird, während die Kennlinie B in Fig. 17 das Spektrum von ASE-Licht zeigt, das den WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 passiert. Ein Vergleich beider Spektren zeigt, daß es zu einer Reduktion des Spektrums des ASE-Lichts im C-Band oder mit kürzerer Wellenlänge kommt, was eine erhebliche Verbesserung des S/R-Verhältnisses beim erfindungsgemäßen optischen L-Band-Verstärker bewirkt.

Im einzelnen liegt das Energieniveau des ASE-Lichts im optischen Verstärker gemäß Fig. 5 bei +8,44 dBm wenn die Leistung des ersten Pumplichts 31s 90 mW und die Leistung des zweiten Pumplichts 32s 60 mW beträgt, während das Energieniveau des ASE-Lichts im optischen Verstärker gemäß Fig. 15 auf +3,71 dBm reduziert wird. Die resultierende Differenz von  $8,44 - 3,71 = 4,73$  dB entspricht dem Grad der Verringerung der ASE-Licht-Energie, wobei es sich insbesondere dann um eine deutliche Verbesserung handelt, wenn ein optisches Eingangssignal mit niedrigem Energieniveau verstärkt wird. Beim Einsatz von Prüf- und Meßinstrumenten verbessert eine derartige Reduktion von Hintergrundstörungen die Empfindlichkeit und Genauigkeit beim Messen optischer Signal ganz erheblich.

Die Anordnung gemäß Fig. 15 stellt im übrigen nur ein Beispiel dar, das dem besseren Verständnis dient. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind auch viele verschiedene andere Ausführungsformen denkbar. So kann beispielsweise, wie in Fig. 8 gezeigt ist, der L-Band-Block 220 im optischen L-Band-Verstärker 320 zwei Pumplichtquellen zur Erzielung eines zweiseitig gerichteten Pumpens umfassen. Die beschriebene Verbesserung des S/R-Verhältnisses läßt sich auch bei dem in Fig. 18 gezeigten Beispiel erzielen.

Zudem lassen sich die Anordnung der Pumplichter und die jeweilige Pumprichtung im optischen C-Band-Verstärker 120 modifizieren, wie dies unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis 13 bereits erläutert wurde, wobei ein Pumpen in



Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung bzw. ein zweiseitig gerichtetes Pumpen möglich ist. Auch bei einer entsprechend modifizierten Version läßt sich eine Verbesserung des S/R-Verhältnisses in der beschriebenen Weise erzielen.

Der in den Fig. 15 und 18 gezeigte WDM-Wellenlängenwahl-Koppler 40 dient nur dem besseren Verständnis. Im Rahmen der Erfindung sind auch verschiedene andere Ausführungsformen denkbar. So können beispielsweise auch einzelne Bestandteile eines WDM-Kopplers und ein optisches Filter eingesetzt werden, wobei der WDM-Koppler zur Ankopplung des Pumplichts dient, während das optische Filter eine Blockierung oder Abschwächung von Wellenlängen im C-Band oder noch kürzeren Wellenlängen bewirkt.

Wie sich der obigen Beschreibung entnehmen läßt, ist es beim erfindungsgemäßen optischen Breitbandverstärker möglich, auf teure optische Bauteile zu verzichten, indem der erste und zweite Verstärker miteinander in Serie geschaltet werden, was eine erhebliche Verringerung der Kosten sowie eine Größenreduzierung ermöglicht. Zudem kommt es zu einer Verringerung der Faserlänge der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser und damit auch zu einer entsprechenden Verringerung des Energieniveaus des Pumplichts bei der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser, was eine weitere Größenreduzierung und Kosteneinsparung ermöglicht. Die optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge, bei der die optische Breitbandverstärkung eingesetzt wird, bietet ebenfalls die genannten Vorteile. Zudem ist es beim optischen Breitbandverstärker möglich, durch Vorsehen einer Filterfunktion, die die verstärkte Spontanemission (ASE) im C-Band-Wellenlängenbereich blockiert, eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses (S/R-Verhältnisses) bei der L-Band-Verstärkung zu erzielen.

In der obigen Beschreibung wurde nur ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel illustriert und erläutert; allerdings lassen sich bezugnehmend auf die obigen Erläuterung natürlich auch viele Modifikationen und Abwandlungen der vorliegenden Erfindung vornehmen, die von den beigefügten Ansprüchen abgedeckt sind und die Grundidee sowie den beabsichtigten Geltungsbereich der Erfindung nicht überschreiten.

#### Patentansprüche

1. Optischer Breitbandverstärker mit wenigstens zwei Wellenlängenbereichen zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge, enthaltend

- eine erste Bauteilgruppe, die aus einem ersten optischen Koppler, einer ersten Pumplichtquelle und einer ersten mit Erbium dotierten optischen Faser besteht, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser durch ein erstes Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird;
- einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signalwegen für ein Ausgangssignal der ersten Bauteilgruppe; und
- eine zweite Bauteilgruppe, die aus einem zweiten optischen Koppler, einer zweiten Pumplichtquelle und einer zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser besteht, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird.

2. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 1, wobei die erste Bauteilgruppe einen ersten optischen Verstärker für einen ersten Verstärkungsbereich bildet und ein zweiter optischer Verstärker für einen zweiten

Verstärkungsbereich durch Kombination der ersten mit der zweiten Bauteilgruppe gebildet wird und wobei die Länge und/oder die Dichte der Erbiumdotierung der ersten und zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser im ersten bzw. zweiten optischen Verstärker entsprechend dem ersten bzw. zweiten Verstärkungsbereich gewählt wird.

3. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 1, wobei die erste Bauteilgruppe einen ersten optischen Verstärker für einen ersten Verstärkungsbereich bildet und ein zweiter optischer Verstärker für einen zweiten Verstärkungsbereich durch eine Kombination der ersten und zweiten Bauteilgruppe gebildet wird, indem diese miteinander in Serie geschaltet werden, und wobei der erste Bereich für kürzere Wellenlängen bestimmt ist als der zweite Bereich und der zweite Verstärkungsbereich durch die Gesamtlänge der ersten und zweiten mit Erbium dotierten optischen Fasern der ersten und zweiten Verstärker bestimmt wird.

4. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 1, wobei die erste Bauteilgruppe einen ersten optischen Verstärker für einen ersten Verstärkungsbereich bildet und ein zweiter optischer Verstärker für einen zweiten Verstärkungsbereich durch eine Kombination der ersten und zweiten Bauteilgruppe gebildet wird, indem diese miteinander in Serie geschaltet werden, und wobei der erste Bereich für kürzere Wellenlängen bestimmt ist als der zweite Bereich und wobei bei einer Verstärkung eines ersten optischen Signals im ersten Bereich dieses erste optische Signal den ersten optischen Verstärker passiert und mit erhöhter Leistung am Ausgang des ersten optischen Verstärkers ausgegeben wird und wobei bei einer Verstärkung eines zweiten optischen Signals im zweiten Bereich dieses zweite optische Signal den ersten und den damit in Serie geschalteten zweiten optischen Verstärker passiert und mit erhöhter Leistung an einem Ausgang der zweiten Bauteilgruppe ausgegeben wird.

5. Optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge zur Erzeugung eines optischen Signals in einem von wenigstens zwei Wellenlängenbereichen, enthaltend

- einen ersten optischen Verstärker, der einen ersten optischen Koppler, eine erste Pumplichtquelle und eine erste mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser durch ein erstes Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird;
- einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signalwegen für ein Ausgangssignal des ersten optischen Verstärkers;
- einen Verstärkerblock, der einen zweiten optischen Koppler, eine zweite Pumplichtquelle und eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird;
- einen zweiten optischen Verstärker, der gebildet wird, indem man den ersten optischen Verstärker über den optischen Umschalter mit dem Verstärkerblock in Serie schaltet;
- ein optisches Filter mit variabler Wellenlänge zur Auswahl der Wellenlänge des durch die optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge zu erzeugenden optischen Signals; und
- einen optischen Demultiplexer zur Bildung einer Rückkopplungsschleife durch Rückführung des optischen Signals vom optischen Filter mit va-

riabler Wellenlänge zu einem Eingang des ersten optischen Verstärkers und Erzeugung des optischen Signals in Form eines optischen Ausgangssignals.

6. Optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge nach Anspruch 5, wobei der erste optische Verstärker ein optisches Signal in einem ersten Bereich und der zweite optische Verstärker ein optisches Signal in einem zweiten Bereich verstärkt, der längere Wellenlängen umfaßt als der erste Bereich, und wobei die Länge und/oder die Dichte der Erbiumdotierung der ersten und zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem ersten bzw. zweiten Verstärkungsbereich gewählt wird.
7. Optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge nach Anspruch 5, wobei der erste optische Verstärker ein optisches Signal in einem ersten Bereich und der zweite optische Verstärker ein optisches Signal in einem zweiten Bereich verstärkt, welcher längere Wellenlängen umfaßt als der erste Bereich, und wobei die Länge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser so gewählt wird, daß sie dem ersten Bereich entspricht, während die Gesamtlänge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem zweiten Bereich gewählt wird.
8. Optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlänge nach Anspruch 5, wobei der erste optische Verstärker zusätzlich die folgenden Bestandteile umfaßt:
  - einen ersten optischen Isolator, der das optische Eingangssignal in Vorwärtsrichtung der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert; und
  - einen zweiten optischen Isolator, der das Eingangssignal in Vorwärtsrichtung einem Ausgangsanschluß des ersten optischen Verstärkers zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert.
9. Optische Breitband-Signalquelle mit variabler Wellenlängen nach Anspruch 5, wobei der zweite optische Verstärker zusätzlich einen dritten optischen Isolator umfaßt, der ein optisches Signal von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser in Vorwärtsrichtung einem Ausgangsanschluß des zweiten optischen Verstärkers zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert.
10. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 1, wobei der optische Breitbandverstärker einen ersten optischen Verstärker für einen ersten Verstärkungsbereich und einen zweiten optischen Verstärker für einen zweiten Verstärkungsbereich umfaßt und der erste optische Verstärker zusätzlich einen ersten optischen Isolator enthält, der das optische Eingangssignal in Vorwärtsrichtung der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert;
  - wobei die Länge und/oder die Dotier-Dichte der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem ersten Verstärkungsbereich gewählt wird;
  - wobei das erste Pumplicht der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser durch den ersten optischen Koppler zugeführt wird; und
  - wobei der erste optische Verstärker zudem einen zweiten optischen Isolator umfaßt, der das optische Eingangssignal in Vorwärtsrichtung einem

Ausgangsanschluß des ersten optischen Verstärkers zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert.

11. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 10, wobei der zweite optische Verstärker den ersten optischen Verstärker umfaßt, der die erste mit Erbium dotierte optische Faser enthält, deren Länge und/oder Dotier-Dichte entsprechend dem ersten Verstärkungsbereich gewählt wird;
  - wobei die Länge und/oder die Dotier-Dichte der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser so gewählt ist, daß sie bei einer Kombination mit der ersten mit Erbium dotierten Faser dem zweiten Verstärkungsbereich entspricht;
  - wobei das zweite Pumplicht der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser durch den zweiten optischen Koppler zugeführt wird; und
  - wobei der zweite optische Verstärker einen dritten optischen Isolator umfaßt, der ein optisches Signal von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser in Vorwärtsrichtung einem Ausgangsanschluß des zweiten optischen Verstärkers zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert.
12. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 10, wobei der zweite optische Verstärker den ersten optischen Verstärker umfaßt, der die erste mit Erbium dotierte optische Faser enthält, deren Länge und/oder Dotier-Dichte entsprechend dem ersten Verstärkungsbereich gewählt wird;
  - wobei die Länge und/oder die Dotier-Dichte der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser so gewählt wird, daß sie bei einer Kombination mit der ersten mit Erbium dotierten Faser dem zweiten Verstärkungsbereich entspricht;
  - wobei das zweite Pumplicht der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser durch den zweiten optischen Koppler zugeführt wird;
  - wobei der zweite optische Verstärker ein drittes Pumplicht enthält, das durch einen dritten optischen Koppler zur zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser gepumpt wird; und
  - wobei der zweite optische Verstärker einen dritten optischen Isolator umfaßt, der ein optisches Signal von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser in Vorwärtsrichtung einem Ausgangsanschluß des zweiten optischen Verstärkers zuführt und optische Komponenten in Rückwärtsrichtung blockiert.
13. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 10, wobei der erste optische Isolator, die erste mit Erbium dotierte optische Faser, das erste Pumplicht und der zweite optische Isolator in dieser Reihenfolge im ersten optischen Verstärker in Richtung von einem Eingangsanschluß zu einem Ausgangsanschluß dieses ersten optischen Verstärkers angeordnet sind.
14. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 10, wobei der erste optische Isolator, das erste Pumplicht, die erste mit Erbium dotierte optische Faser und der zweite optische Isolator in dieser Reihenfolge im ersten optischen Verstärker in Richtung von einem Eingangsanschluß zu einem Ausgangsanschluß dieses ersten optischen Verstärkers angeordnet sind.
15. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 11, wobei der erste optische Verstärker, das zweite Pumplicht, die zweite mit Erbium dotierte optische Faser und der dritte optische Isolator in dieser Reihenfolge im zweiten optischen Verstärker in einer Richtung von

einem Eingangsanschluß zu einem Ausgangsanschluß dieses zweiten optischen Verstärkers angeordnet sind.

16. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 11, wobei der erste optische Verstärker, die zweite mit Erbium dotierte optische Faser, das zweite Pumplicht und der dritte optische Isolator in dieser Reihenfolge im zweiten optischen Verstärker in einer Richtung von einem Eingangsanschluß zu einem Ausgangsanschluß dieses zweiten optischen Verstärkers angeordnet sind.

17. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 12, wobei der erste optische Verstärker, das zweite Pumplicht, die zweite mit Erbium dotierte optische Faser, das dritte Pumplicht und der dritte optische Isolator in dieser Reihenfolge im zweiten optischen Verstärker in einer Richtung von einem Eingangsanschluß zu einem Ausgangsanschluß dieses zweiten optischen Verstärkers angeordnet sind.

18. Optischer Breitbandverstärker mit wenigstens zwei Wellenlängenbereichen zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge, enthaltend

- einen ersten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem ersten Bereich dient und einen ersten optischen Koppler, eine erste Pumplichtquelle und eine erste mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser durch ein erstes Pumplicht von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird;
- einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signalwegen für ein Ausgangssignal des ersten optischen Verstärkers; und
- einen zweiten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem zweiten Bereich dient, welcher längere Wellenlängen umfaßt als der erste Bereich, wobei der zweite optische Verstärker den ersten optischen Verstärker und einen zweiten optischen Verstärkerblock umfaßt, welcher einen zweiten optischen Koppler, eine zweite Pumplichtquelle und eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser enthält, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird;
- wobei der zweite optische Verstärker Mittel zur Blockierung eines verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich gegenüber der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser umfaßt.

19. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 18, wobei die Mittel zur Blockierung des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich durch einen optischen Wellenlängenwahl-Koppler gebildet werden, welcher das zweite Pumplicht mit der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser koppelt und ein Passieren des ASE-Lichts im ersten Bereich verhindert.

20. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 18, wobei die Mittel zur Blockierung des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich durch ein optisches Filter gebildet werden, das ein Passieren des ASE-Lichts im ersten Bereich verhindert.

21. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 19, wobei der optische Wellenlängenwahl-Koppler durch einen Wellenlängenteil-Multiplexkoppler (WDM) gebildet wird, der aus einer Vielzahl sich überlappender dünner Schichten dielektrischen Materials besteht.

22. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 18,

wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch das Pumplicht angeregt wird, das entweder rückwärts gepumpt wird, wobei das Pumplicht sich in Rückwärtsrichtung zur zweiten mit Erbium dotierten Faser hin ausbreitet, oder in zwei Richtungen gepumpt wird, wobei sich das Pumplicht sowohl in Rückwärts- als auch in Vorwärtsrichtung zur zweiten mit Erbium dotierten Faser hin ausbreitet.

23. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 18, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch das Pumplicht angeregt wird, welches entweder in Vorwärtsrichtung gepumpt wird, wobei das Pumplicht sich in Vorwärtsrichtung zur zweiten mit Erbium dotierten Faser hin ausbreitet, oder in Rückwärtsrichtung gepumpt wird, wobei sich das Pumplicht in Rückwärtsrichtung zur zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser hin ausbreitet, oder in zwei Richtungen gepumpt wird, wobei sich das Pumplicht sowohl in Rückwärts- als auch in Vorwärtsrichtung zur zweiten mit Erbium dotierten Faser hin ausbreitet.

24. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 18, wobei der erste Bereich durch ein C-Band (1,53–1,565  $\mu\text{m}$ ) und der zweite Bereich durch ein L-Band (1,565–1,60  $\mu\text{m}$ ) gebildet wird.

25. Optischer Breitbandverstärker mit wenigstens zwei Wellenlängenbereichen zur Verstärkung eines optischen Eingangssignals bekannter Wellenlänge, enthaltend

- einen ersten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem ersten Bereich dient und einen ersten optischen Koppler, eine erste Pumplichtquelle und eine erste mit Erbium dotierte optische Faser enthält, wobei die erste mit Erbium dotierte optische Faser mit Hilfe eines ersten Pumplichts von der ersten Pumplichtquelle angeregt wird;
- einen optischen Umschalter zum Wechsel von Signalwegen für ein Ausgangssignal des ersten optischen Verstärkers; und
- einen zweiten optischen Verstärker, der zur Verstärkung eines optischen Signals in einem zweiten Bereich dient, der längere Wellenlängen umfaßt als der erste Bereich, wobei der zweite optische Verstärker aus dem ersten optischen Verstärker und einem zweiten Verstärkerblock besteht, welcher einen zweiten optischen Koppler, eine zweite Pumplichtquelle und eine zweite mit Erbium dotierte optische Faser umfaßt, wobei die zweite mit Erbium dotierte optische Faser durch ein zweites Pumplicht von der zweiten Pumplichtquelle angeregt wird;
- wobei die Gesamtlänge der ersten mit Erbium dotierten optischen Faser und der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser entsprechend dem zweiten Bereich gewählt wird und wobei der zweite optische Verstärker Mittel umfaßt, die ein verstärktes Spontanemissionslicht (ASE-Licht) im ersten Bereich gegenüber der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser blockieren.

26. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 25, wobei die Mittel zum Blockieren des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich durch einen optischen Wellenlängenwahl-Koppler gebildet werden, der das zweite Pumplicht mit der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser koppelt und ein Passieren des ASE-Lichts im ersten optischen Bereich verhindert.

27. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 25,

wobei die Mittel zur Blockierung des verstärkten Spontanemissionslichts (ASE-Lichts) im ersten Bereich durch ein optisches Filter gebildet werden, das ein Passieren des ASE-Lichts im ersten Bereich verhindert.

28. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 25, wobei der erste optische Verstärker zusätzlich die folgenden Bestandteile umfaßt:

- einen ersten optischen Isolator zur Zuführung des optischen Eingangssignals in Vorwärtsrichtung zur ersten mit Erbium dotierten optischen Faser und zur Blockierung optischer Komponenten in Rückwärtsrichtung; und
- einen zweiten optischen Isolator zur Zuführung des optischen Eingangssignals in Vorwärtsrichtung zu einem Ausgangsanschluß des ersten optischen Verstärkers und zur Blockierung optischer Komponenten in Rückwärtsrichtung.

29. Optischer Breitbandverstärker nach Anspruch 25, wobei der zweite optische Verstärker zusätzlich einen dritten optischen Isolator umfaßt, der zur Zuführung eines optischen Signals von der zweiten mit Erbium dotierten optischen Faser in Vorwärtsrichtung zu einem Ausgangsanschluß des zweiten optischen Verstärkers und zur Blockierung optischer Komponenten in Rückwärtsrichtung dient.

---

Hierzu 18 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 2

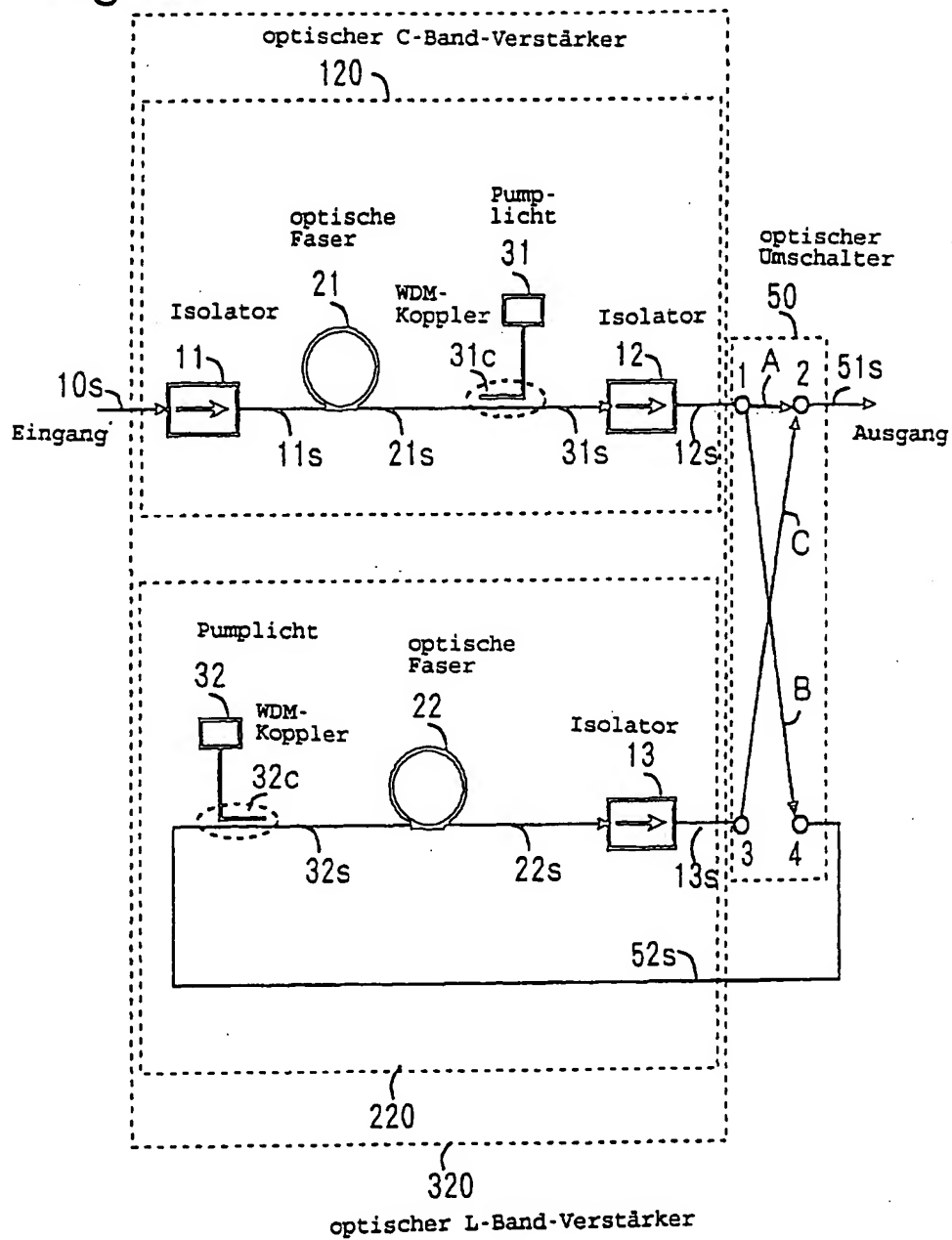


Fig. 1 (Stand der Technik)

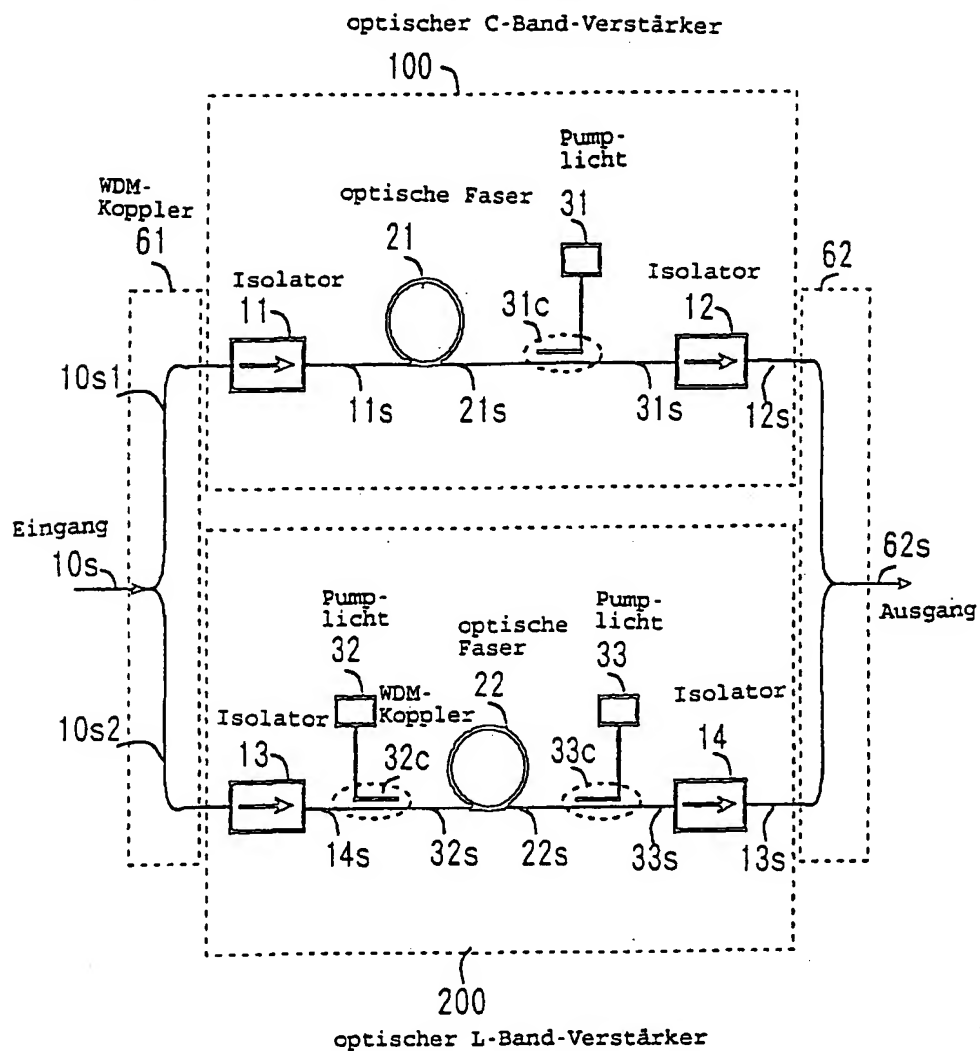




Fig. 3

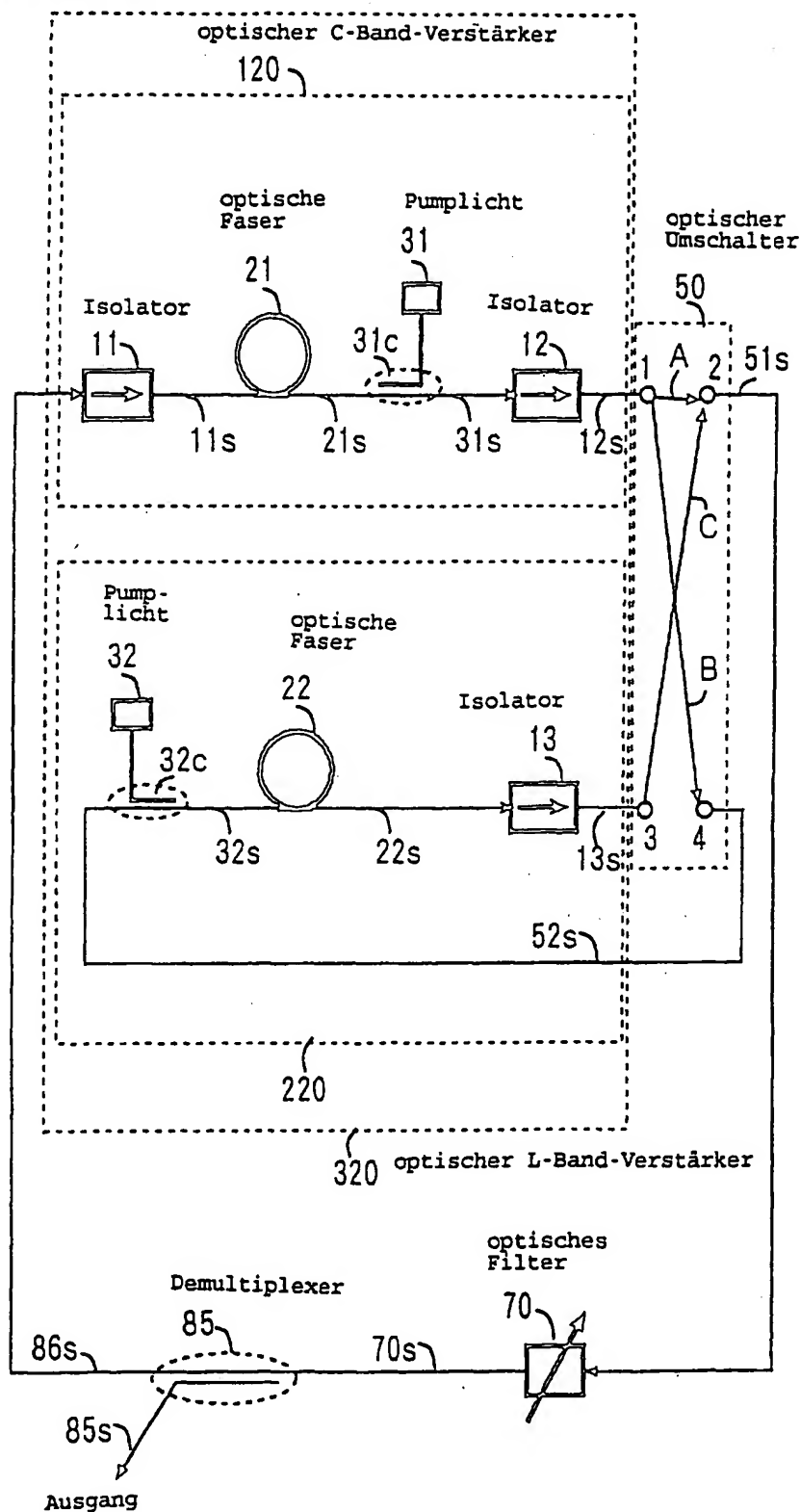


Fig. 4

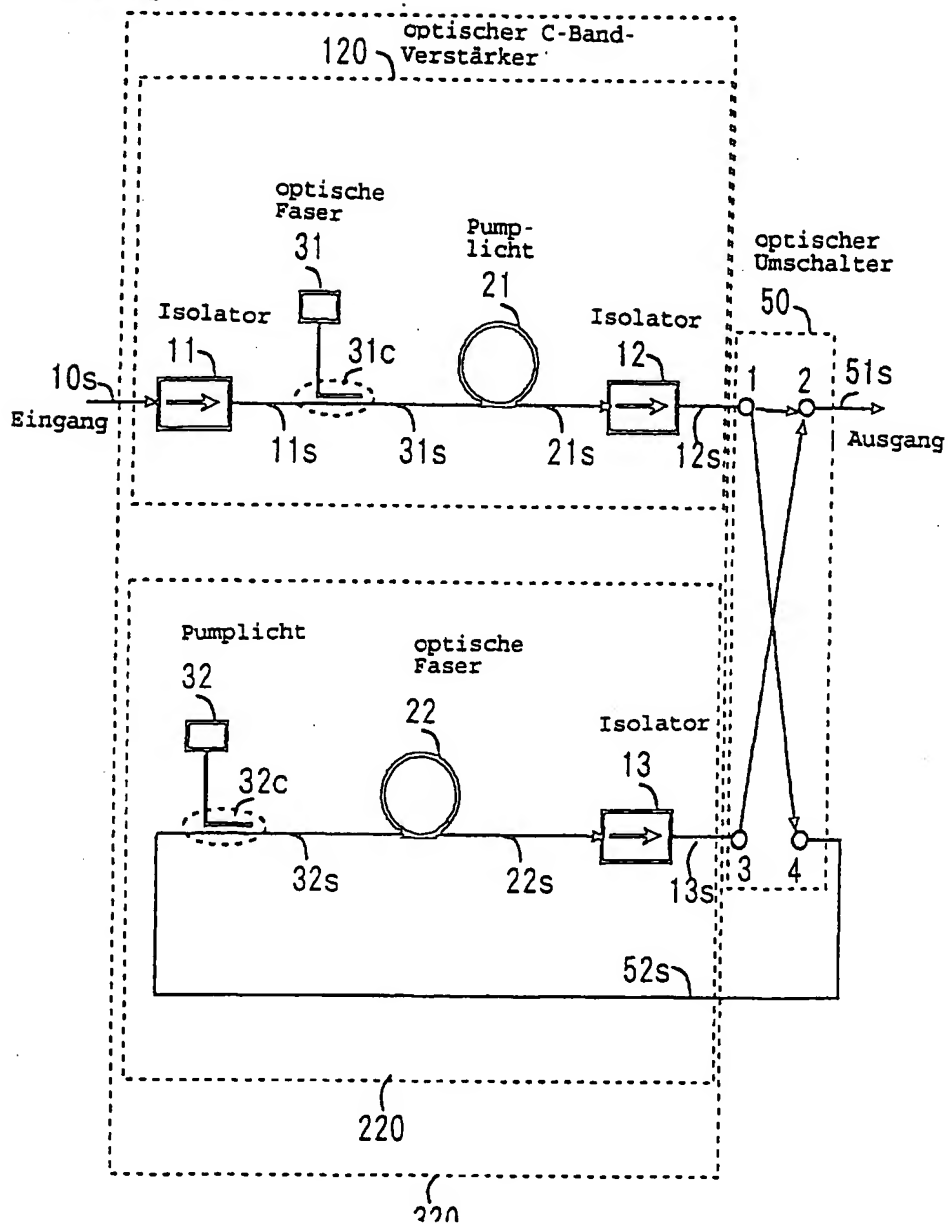


Fig. 5

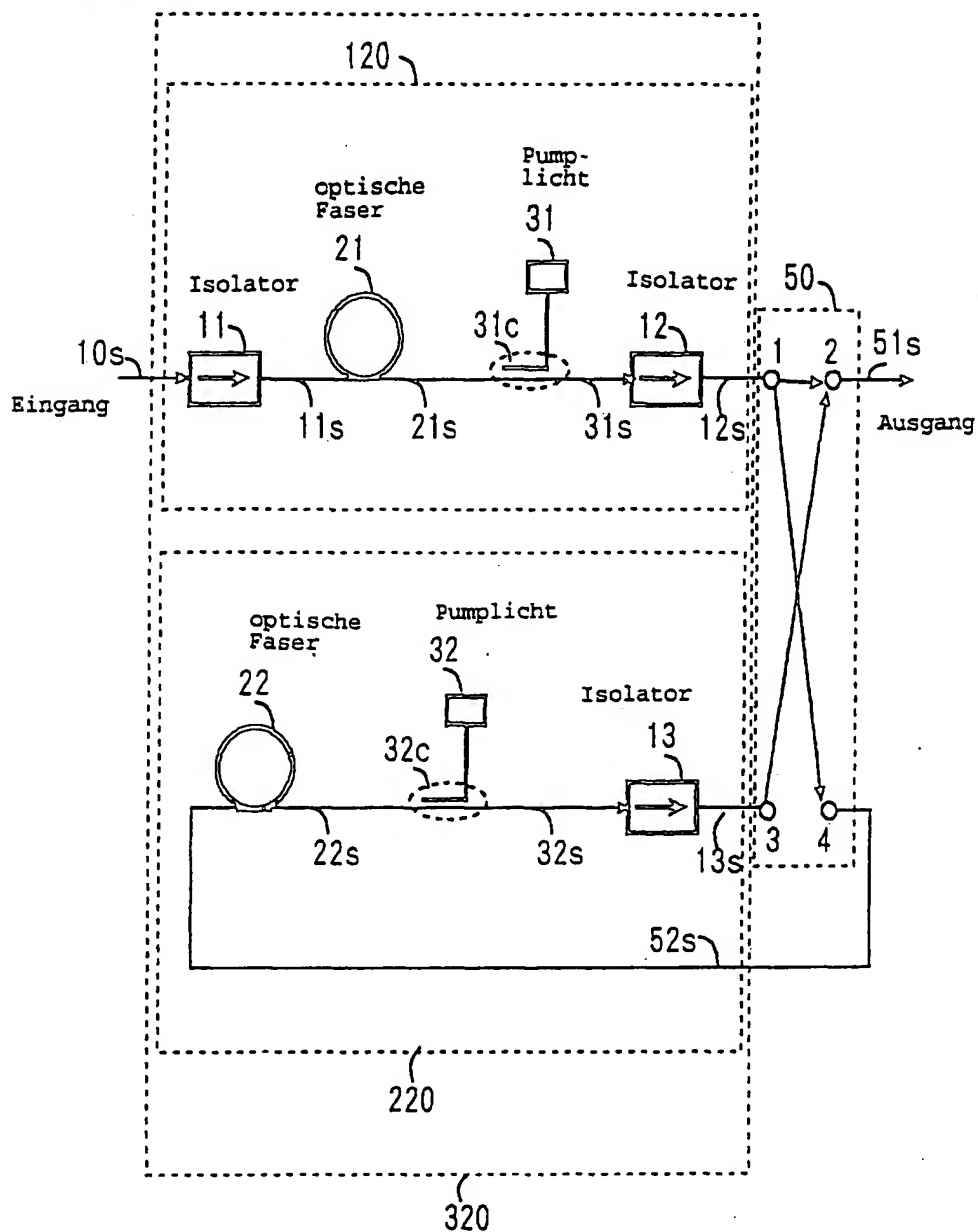


Fig. 6

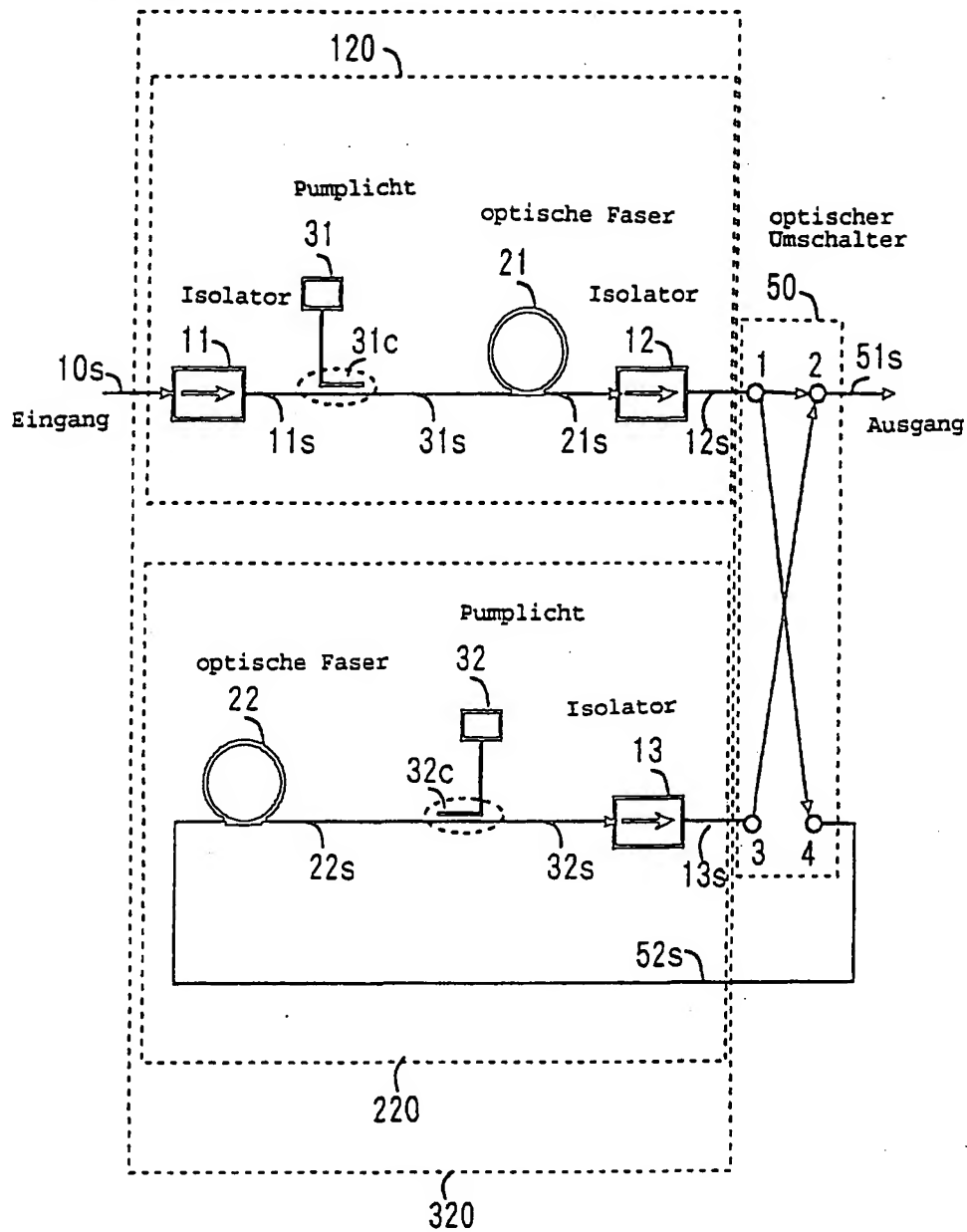


Fig. 7

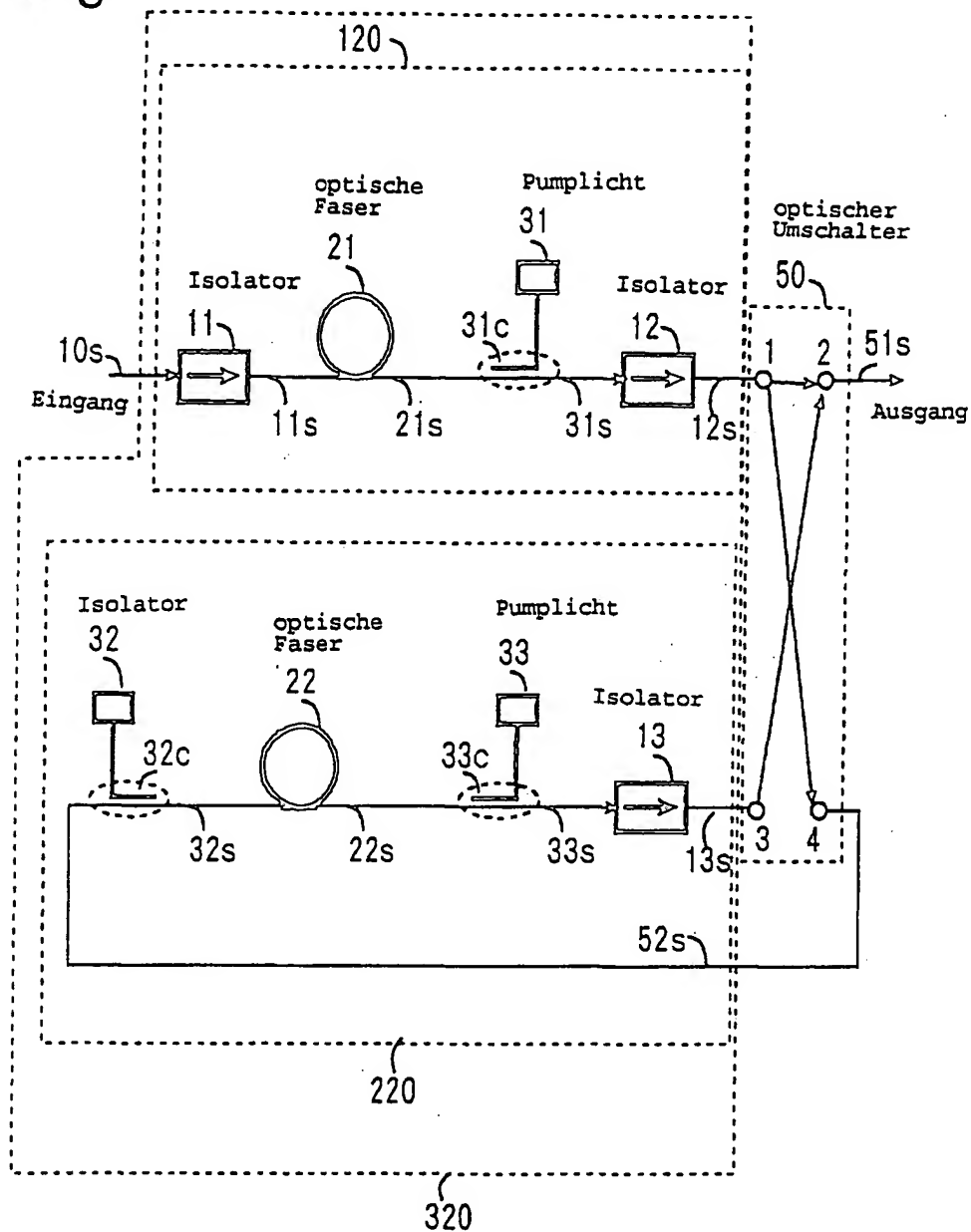


Fig. 8

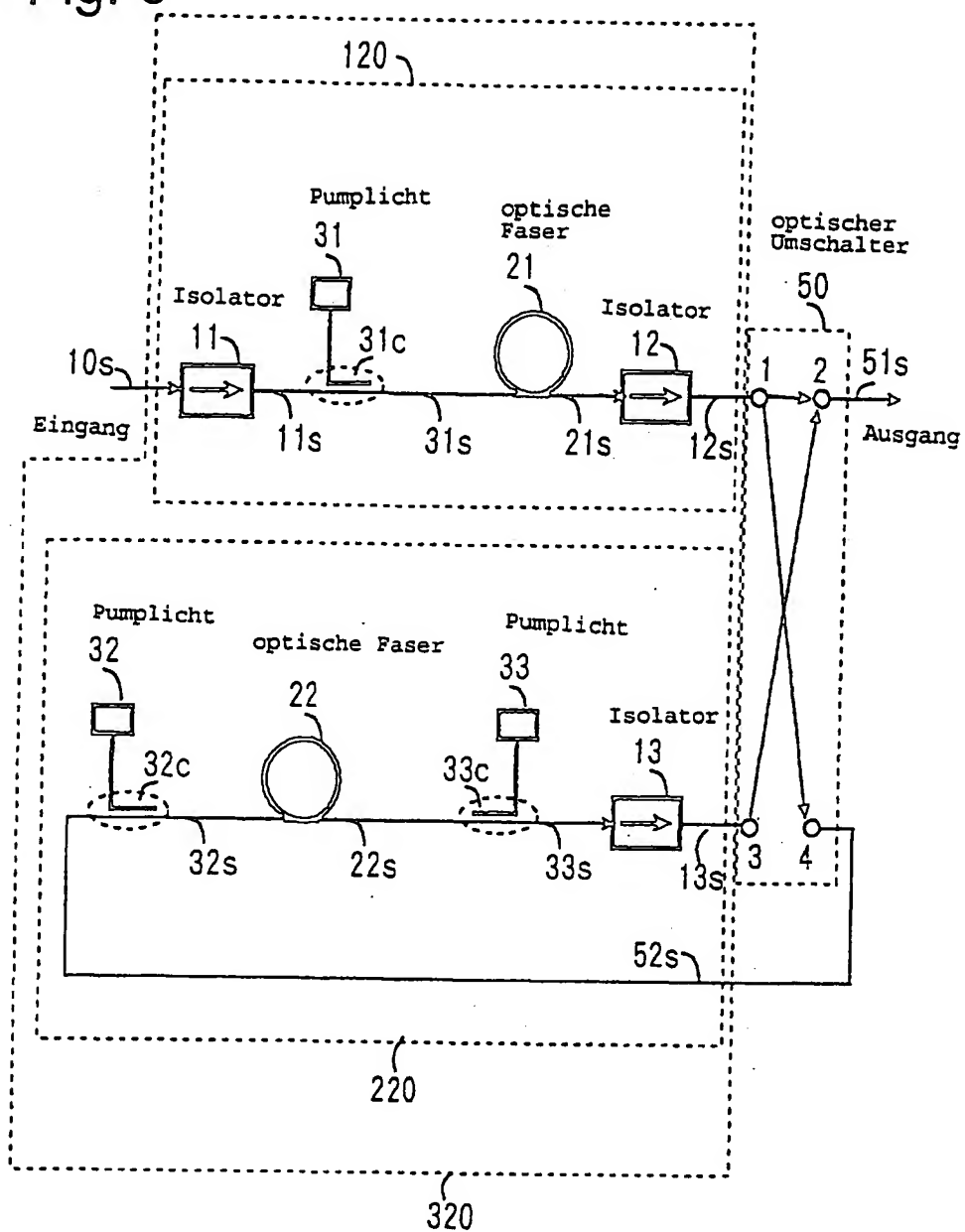




Fig. 9

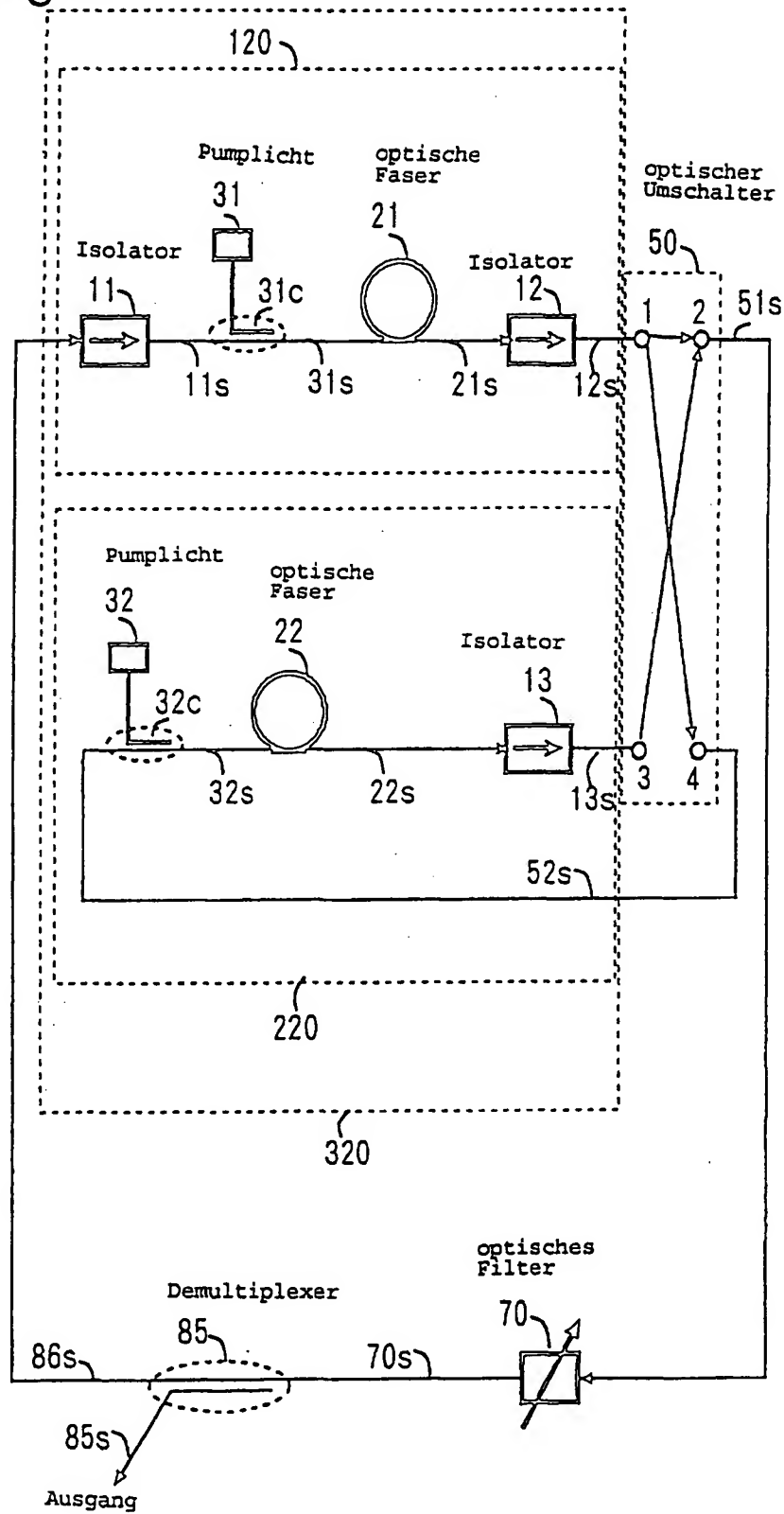


Fig. 10

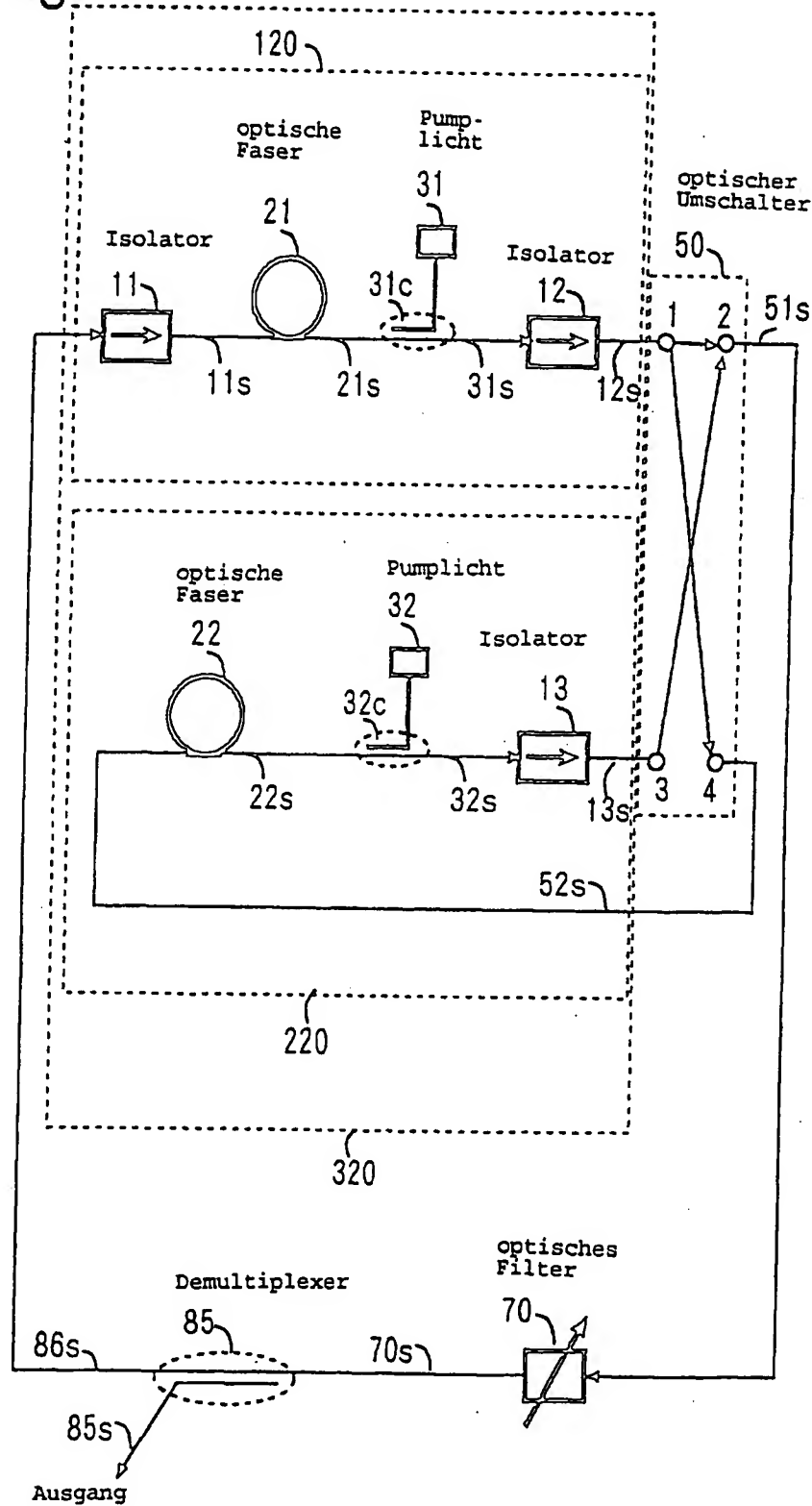


Fig. 11

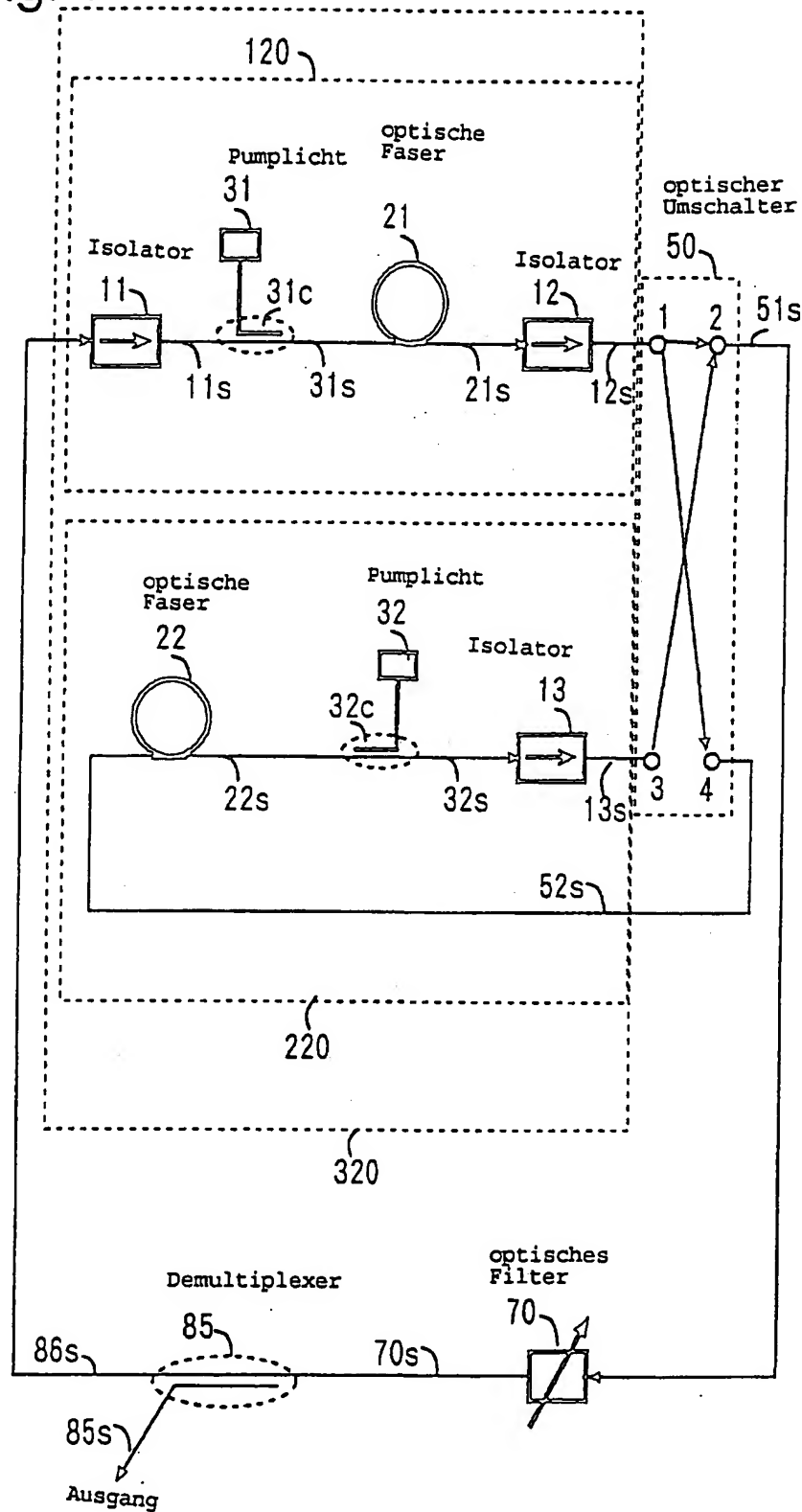


Fig. 12

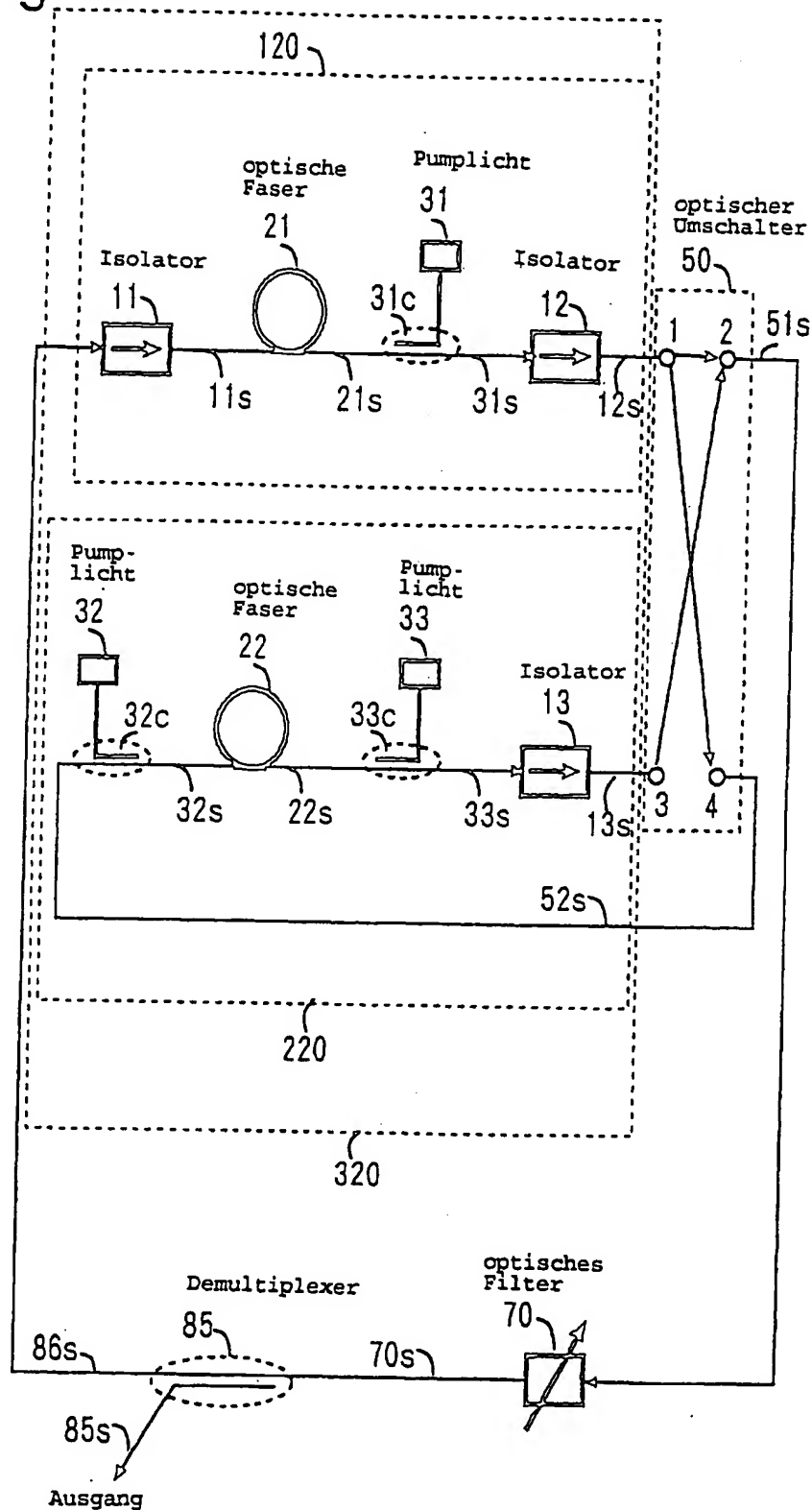


Fig. 13

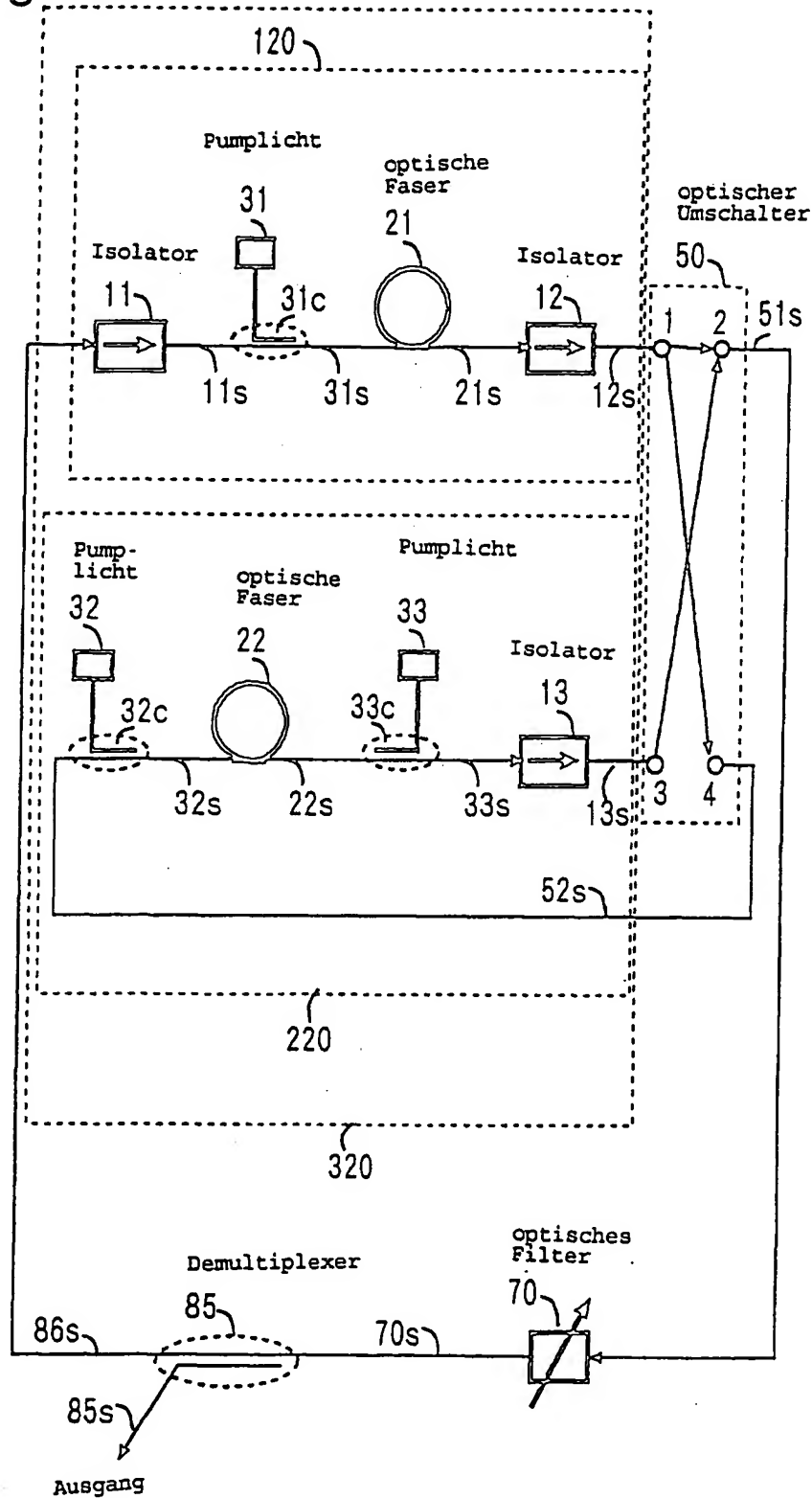


Fig. 14

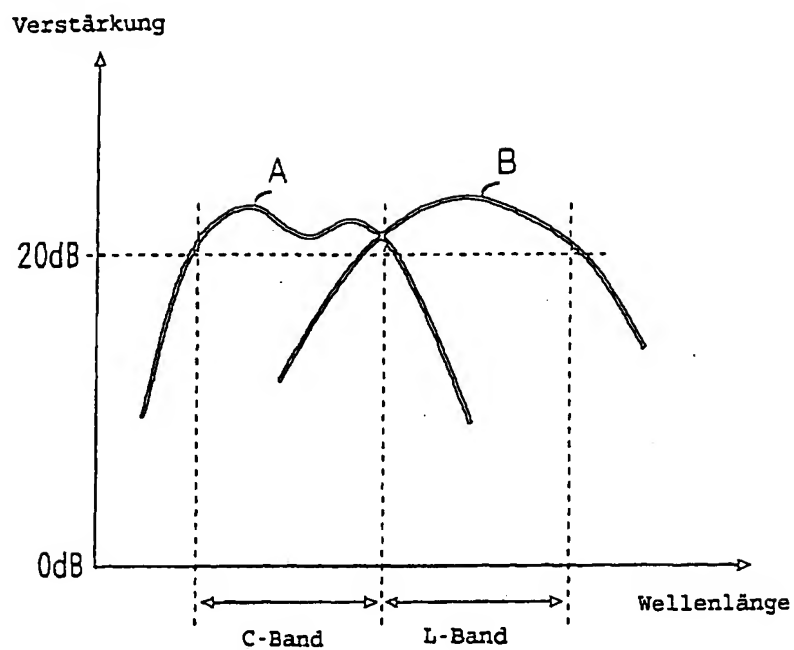




Fig. 15

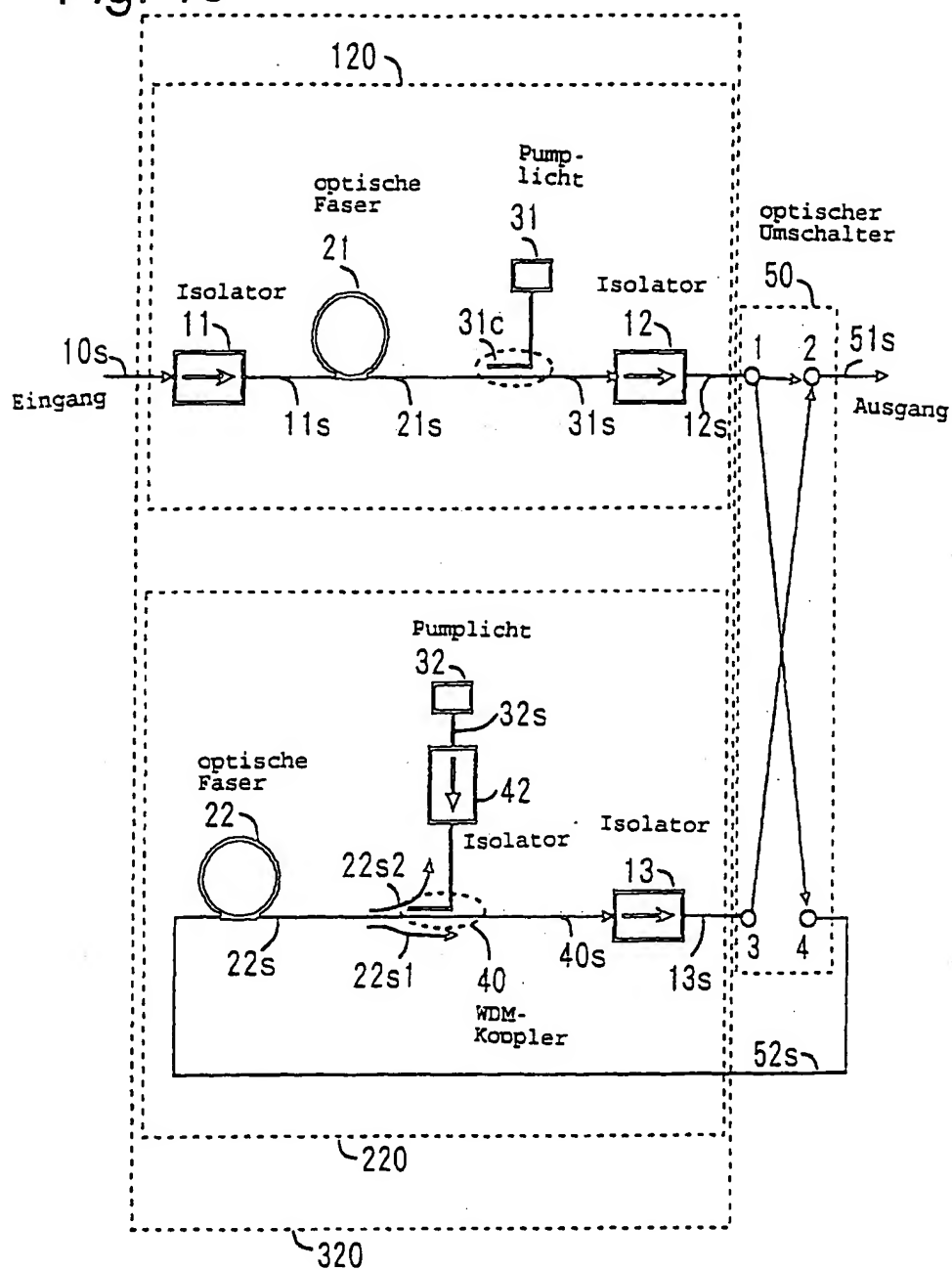


Fig. 16

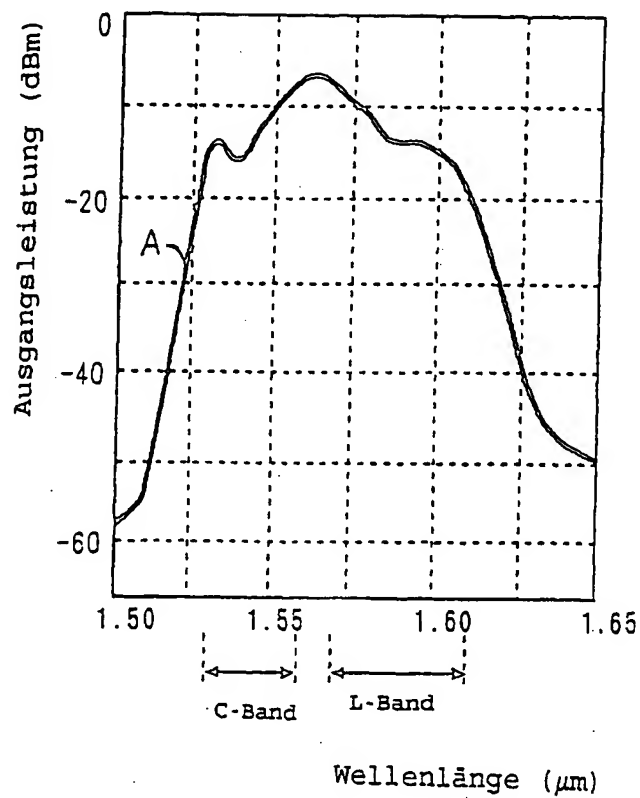


Fig. 17

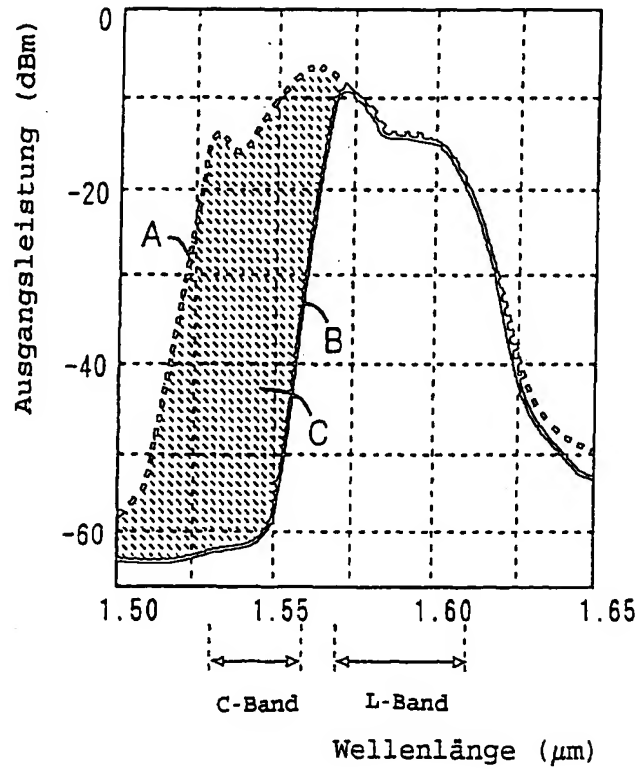


Fig. 18

